



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

DESARROLLO DE NANOMATERIALES COMPUESTOS APLICADOS  
A LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN



**NANOCOMPUESTO DE ESPUMA RIGIDA DE POLIURETANO**

**T E S I S**

*QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE*  
**MAESTRO EN INGENIERIA CIVIL**

P R E S E N T A

**DANIEL ROMERO NIETO**



**MÉXICO D.F.**

**2007**

## JURADO ASIGNADO

**Presidente:** M.I. Salvador Díaz Díaz.  
**Vocal:** Dra. Mirna Rosa Estrada Yáñez  
**Secretario:** Dr. Hugo Meza Puesto  
**1er. Suplente:** Ing. Alejandro Vázquez Vera  
**2do. Suplente:** Ing. Ernesto Sánchez Mendoza

Sitio en donde se desarrolló el tema:  
**Instituto de Investigaciones en Materiales.**  
**UNAM.**

---

Dra. Mirna Rosa Estrada Yáñez.  
**Asesora.**

---

Daniel Romero Nieto  
**Sustentante**

**Agradecimientos****Indice del Contenido****Introducción**

Procedimiento Constructivo

Evolución de los Materiales y Sistemas Constructivo

Bibliografía

**Capítulo 1 Nanotecnología**

Antecedentes

Nano-estructuras

Nano – compuestos

Interacción de la [Ben] en Matrices Polimerica

Bibliografía

**Capítulo 2 Materiales**

Materiales en Ingeniería

Elementos de la Tabla Periodica

Propiedad de los Materiales Constructivos

Propiedades Mecanicas de Polimeros

Bibliografía

**Capítulo 3 Polimeros**

Generalidades

Tipos de Polimerizacion

Clasificación de Polimeros

Polímeros en la Construcción

Compuestos Polimericos

Espuma de Poliuretano

Definición

Propiedades de la Espuma de Poliuretano

Generalidades sobre la Espuma de Poliuretano

Aplicaciones Comerciales

Consideraciones de Desempeño en Aislamiento

Química Basica de las Espumas

Proceso de Espumado

Bibliografía

**Capítulo 4 Fuego**

Elementos del fuego

Retardantes de Fuego

Arcilla mas Bentonita

Intercambio Ionico de la Bentonita

Mecanismos de Accion de los Retardantes de Fuego

Mecanismo de Accion de la Bentonita como Retardante de Fuego

Bibliografia

**Capítulo 5 Desarrollo experimental**

Reactivos

Síntesis de nanocompuesto poliuretano mas Bentonita y Poliuretano mas Bentonita mas acido aminoundecanoico

Obtencion de Espumas

Caracterizacion de Espumas

Microscopio electronico de transmisionTEM

Difracción de rayos x DRX

Ensayo de Retardancia a la Flama

Ensayo de Compresion

**Capítulo 6 Resultados**

Microscopio electronico de transmision TEM

Difracción de rayos x DRX

Ensayo de Retardancia a la Flama

Ensayo de Compresion

**Conclusiones****Aplicacion en Arquitectura**

## INTRODUCCIÓN

El mundo vive una revolución tecnológica e informática mucho más profunda y extensa que lo que fue la Revolución Industrial del siglo XVIII. Vivimos en una época maravillosa con nuevos inventos y descubrimientos diariamente al alcance de la mano. Cada época de cambio suscita momentos críticos en la historia de la humanidad. En este momento, los constructores son protagonistas de un parteaguas histórico como lo fueron hace más de un siglo. Entonces, como ahora, los constructores deben comprometerse con el futuro, y el de los espacios urbano – arquitectónicos, más aún cuando la humanidad transita por graves problemas de sobrepoblación y destrucción de recursos no renovables que restringen el umbral de soluciones dirigidas a resolver sus problemas y sus necesidades elementales.

Los materiales y sistemas constructivos actuales como el concreto, acero, vidrio, entre otros, han evolucionado lentamente en la industria de la construcción, de tal manera que necesitamos experimentar nuevos materiales, ya que estos no son eternos. Proponiendo así cambiar el paradigma de que las construcciones son eternas. Como lo hemos visto a través de la historia, hasta las pirámides se han desgastado y algún día se podrán demoler.

El arquitecto Ítalo Calvino, pide en uno de sus ensayos, entre otras cosas, que los edificios sean:

TRANSPARENTES	Esta será la filosofía dentro del proyecto.
PREFABRICADOS	
RECICLABLES	

Los nanomateriales, en la actualidad, tienen numerosas aplicaciones en las distintas industrias en el mundo. En la industria de la construcción y en la Arquitectura no debe ser la excepción, debido a las características que ofrecen como; altas resistencias mecánicas, térmicas, retardancia a la flama y a la corrosión, así como bajo peso y durabilidad, entre muchas más ventajas, estas propiedades se pueden encontrar a bajas concentraciones.<sup>1</sup>

Un nuevo tipo de aditivo retardante de fuego lo constituyen los materiales nanocompuestos (nanocomposites, en inglés), los cuales utilizan arcillas

nanoestructuradas dentro de los plásticos en muy bajas concentraciones (menores a 10%)<sup>2,3,4</sup>. Presentan la ventaja adicional de ser productos naturales no contaminantes, versátiles y existen en el territorio nacional. La presente investigación se evaluará de acuerdo con normas establecidas<sup>5,6</sup>.

Por otra parte, los nanomateriales han generado mucho interés en empresas dentro de diversas áreas relacionadas con distintas industrias alrededor del mundo.

Es así como se ha generado la idea de mejorar las propiedades de un material de aplicación en la industria de la construcción, a través de la obtención de un **NC** polimérico para cubrir necesidades y requerimientos arquitectónicos y estructurales de hoy en día.

En las escuelas de ingeniería y arquitectura ofrecen cursos de materiales y procedimientos de construcción, los cuales son muy importantes en la formación académica del alumno. Desarrollo de nuevos materiales para cubrir nuevas necesidades en la actividad profesional. Por lo que la presente investigación se puede utilizar como complemento a estos cursos, de tal manera que se les hace la invitación a participar en esta nueva línea de investigación en los posgrados de ingeniería y arquitectura sobre *NANOMATERIALES EN LA CONSTRUCCIÓN*.

En este trabajo se da un panorama de la evolución de los materiales, y se dará una propuesta de un nanomaterial aplicado a la arquitectura.

Después de haber conocido los tipos de los materiales se decidió adentrarse en el mundo de los plásticos, que es uno de los materiales más abundantes, en la actualidad, están en todas partes: en componentes para la casa, partes automotrices, partes eléctricas, materiales para la construcción, empaques, etc.

La espuma de [PU] es la materia prima seleccionada para dar una propuesta de un sistema constructivo y aplicarlo a la industria de la construcción.

Debido a la gran demanda en la edificación a nivel nacional y a la monotonía con que seguimos construyendo desde hace 2000 años, en donde antes se creía que resistencia era grosor, ahora es tensión, antes era compresión, ahora es tensión. Con el plástico, material derivado del petróleo, surgen nuevos materiales ligeros y resistentes.

Se dará una propuesta de aplicación con base en la preparación de Nanocompuestos (**NC**) de espuma de poliuretano rígida [PU].

Teniendo todas las ventajas del plástico contra los demás materiales crece la posibilidad de entrar en el mercado de los materiales en la construcción. Debido a su gran versatilidad de manipulación y aplicación de Espuma de [PU]. Incluso puedo decir que es un mercado relativamente joven en la ciudad de México. Por esto, nace la idea de desarrollar y explotar las ventajas de este material. Puede ser reciclable, ecológico, económico de fácil manipulación y aplicación.

Para la realización de este trabajo se aplica, entre otras disciplinas, la ingeniería y la química de los materiales, lo que nos hace tener una formación multidisciplinaria. Así mismo se le da un enfoque de inversión, obteniendo el costo de dicho material y encontrando la forma en la que puede entrar en el mercado de la construcción para lograr ser competente ante los materiales actuales.

En la parte experimental de la presente investigación se enfoca en la propuesta de un material **NC** para mejorar su resistencia mecánica (compresión) y de retardancia de flama con base en la arcilla Bentonita [Be].

A partir de arcilla [Be] de origen nacional y poliuretano para espumas [PU], se forma un **NC** polimérico espumado. El material puede operar como recubrimiento, ya que una de las cualidades de este material es su buena calidad de adherencia con otros materiales. Otra de las ventajas de esta propuesta es que toda la materia prima se encuentra en el país y no hay que importarla ex profeso.

Dentro de la etapa de experimentación, para poder formar el **NC** se usará la arcilla de dos maneras: a) tal cual la vende el proveedor y b) haciéndola reaccionar con el clorhidrato del ácido aminoundecanoico, [AAC11].

La formación del poliuretano parte de dos componentes-. Un di-isocianato y un di- o poli-alcohol. La arcilla se incorporará a uno de estos componentes hasta que esté perfectamente bien distribuida y luego se juntarán ambos componentes para formar el **NC** espumado.

*Es importante resaltar que en el proceso de producción de **NC** poliméricos se busca utilizar el mínimo de energía y usar materiales de bajo costo, para hacer lo más comercialmente atractivo este desarrollo.*

El lector encontrará un proyecto de investigación con carácter experimental - aplicativo. Por lo cual se esperan sus comentarios y sugerencias del mismo en:

[alit\\_3 yahoo.com.mx](mailto:alit_3@yahoo.com.mx)

## OBJETIVOS

### Objetivo de la Investigación

- Dar una propuesta de un sistema para la construcción, con base en **NC** de poliuretano, monitoreando las propiedades de retardancia de fuego y de resistencia a la compresión.

### Objetivos Particulares

- Obtener un **NC** de poliuretano con arcilla nacional.
- Estudiar la variación de propiedades de retardancia al fuego y de resistencia a la compresión con respecto a la concentración de arcilla utilizada.
- Verificar el estado de dispersión de la arcilla en la matriz polimérica (convencional, intercalado o exfoliado).

### Objetivos personales

- Ampliar los conocimientos acerca de materiales poliméricos
- Adentrarse al mundo del desarrollo de los nuevos materiales
- Diseñar su aplicación con nuevas formas, Conocer las propiedades físicas y químicas de los **NC** de matriz polimérica.
- Obtener una Arquitectura maleable, flexible, reciclable, ecológica. Con posibilidades de construcción en serie.

## HIPOTESIS

- El nanomaterial de espuma de [PU], superará las propiedades de resistencia mecánica y de retardancia de fuego del [PU] con arcilla nanoestructurada.

**ANTECEDENTES**

En la opinión general de la comunidad científica mundial, el surgimiento de la nanotecnología determinó un parteaguas histórico en el desarrollo tecnológico de la humanidad. Antes de la nanotecnología, el hombre ha sido capaz de crear herramientas y objetos bajo sistemas constructivos industrializados modificando porciones de materiales que contienen miles de millones de átomos. A esta tecnología se le ha llamado tecnología masiva y nos ha permitido evolucionar desde las herramientas labradas de piedra hasta la creación de los microcircuitos integrados. La nanotecnología ha ido permitiendo manejar átomos y moléculas con absoluta precisión para construir estructuras microscópicas con especificaciones atómicas sumamente complejas y caprichosas. Es por ello que a la nanotecnología se la conoce con el nombre de tecnología molecular.<sup>7</sup>

La nanotecnología cambiará seguramente la forma en que el hombre ve su mundo, y lo hará de tantas y tan variadas formas insospechadas que serían prácticamente imposibles imaginarlas. Cuando se habla de la nanotecnología solemos pensar en nano-chips o en aparatos ultra-pequeños que están siendo desarrollados por científicos para la medicina, la lucha contra el cáncer, la bioquímica, la física, etc.

Sin embargo, el sector de la construcción parece estar alejada de la ciencia y la tecnología.<sup>8</sup> Empieza a entrar en el mundo de los avances tecnológicos, y se está empezando a investigar formas en las que la nanotecnología puede aportar mejoras a la construcción de carreteras, puentes y edificios.

Los últimos avances de la nanotecnología en el sector de la construcción y el desarrollo de edificios inteligentes capaces de eliminar la contaminación del medioambiente, adaptando tecnologías ya disponibles para la fabricación de ventanas y azulejos auto-limpiables<sup>1</sup>

La aplicación de la nanotecnología en las carreteras y la construcción también hará posible identificar y reparar de forma automática, sin intervención humana, brechas y agujeros en el asfalto o en el hormigón y fabricar señales de tráfico que se limpian a si mismas. Se utiliza la nanotecnología para fabricar acero y hormigón más fuertes y también para la seguridad vial<sup>1</sup>.

Hoy en día la arquitectura nos exige más que un diseño, un buen concepto.... Realmente, el mundo de cambios constantes en el que vivimos, nos exige trabajar de forma multidisciplinaria en el ámbito profesional, para poder lograr proyectos de índole importante hacia la sociedad.

El autor piensa que el futuro de la Arquitectura tendrá que ser con estructuras muy complejas y materiales que le puedan servir para representar sus nuevas creaciones arquitectónicas. Serán estructuras moleculares las que nos transformen o nos evolucionen de cómo vivimos hoy en día. ¡Preparémonos para la siguiente revolución industrial.!

### **Nanotecnología en el Contexto de las Instituciones Científicas**

Los nanomateriales a nivel internacional es un campo muy cerrado, es decir, no se ha difundido, debido a su reciente creación. En México se cuenta con algunas instituciones que llevan acabo investigaciones con nuevos materiales, tal es el caso del Instituto de Investigación en Materiales, en donde se destacan líneas de investigaciones de nuevos materiales compuestos, cerámicos, metálicos y poliméricos, con aplicaciones en varias ramas como; la industria química, dental, construcción, entre otras. Otro de los centros de gran relevancia en México es el, Centro de Nanociencias y Nanotecnologías. Así como la Red General de Investigación en Nanociencia en la UNAM, (REGINA). En los últimos años han estado buscado la realización de proyectos destinados al diseño, síntesis y caracterización de nanomateriales, con la finalidad de generar nuevas tecnologías en el área denominada Nanotecnología.

Los Centros de Conacyt del centro Científico de Yucatán Y El Centro de Investigación en Materiales Avanzados (CIMAV), dentro de su campo de investigaciones de materiales relacionados a la construcción. Así como algunas instituciones privadas como CEMEX, ITESM y el IMCYC realizan trabajos, para mejorar sus propios productos, como es el caso aislado de los cementos y concretos. En universidades como el, y el Centro de Investigación y de estudios Avanzados (CINVESTAV), por citar algunos ejemplos.

### **PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS<sup>9</sup>**

Los procesamientos constructivos tradicionales y prefabricados son un ejemplo de estos procesos. Podemos decir que cualquier procedimiento constructivo debe

contemplar en su diseño las soluciones necesarias para darle autoaporte, apariencia, paso de instalaciones y adecuación de equipamiento.

### Teoría de sistemas constructivos

Todo sistema para ser descrito debe tener recursos y éstos ( utilizados por los Sistemas Constructivos, también llamados Principios de Aplicación del Diseño Constructivo), son el conjunto de factores o conocimientos controlados totalmente por el arquitecto. Son de tres tipos: técnicos (conocimientos de diseño y patrones de diseño), económicos y humanos de diseño.

Es necesario tener en cuenta la construcción elegida y sus características: su plasticidad, la facilidad de obtención, la resistencia, la textura y el color, entre otras. Además deben considerarse los recursos económicos y humanos con los que se pueden generar. Por su parte, los principales condicionamientos de diseño que debe responder cualquier sistema constructivo moderno son tres: parámetros **funcionales, estéticos y cronotópicos**.

Los parámetros funcionales son la resistencia, la estabilidad, el peso y el volumen. Los parámetros estéticos agrupan los requerimientos de apariencia óptico háptica. Mientras que los parámetros cronotópicos son el destino, el costo comercial, la topografía, el clima y la calidad e involucran las condiciones internas y externas del contexto temporal que incide en el sistema edificio. Así mismo, los sistemas constructivos deben cumplir con ciertos patrones (*sistematización, industrialización, modulación, racionalización, normalización, transportación, interconectividad e intercambiabilidad*) ya antes mencionados, pero que serán descritos a detalle en las siguientes líneas.<sup>10</sup>

La **industrialización** determina el dominio de la tecnología industrial para producir un elemento constructivo moderno, siendo el objetivo principal, la producción. Mientras que la **racionalización** implica la definición de elementos sencillos en forma y número, tendiendo a evitar la complejidad del sistema constructivo moderno, esto ayuda a optimizar el consumo de los materiales constructivos. La **racionalización** es ahorro.

La **normalización** implica un entendimiento y comunicación entre todos los protagonistas de la producción de un sistema edificio. Las normas permiten la

*intercambiabilidad*, la comercialización, la uniformidad globalizada y la libertad de elección de un componente constructivo.

El patrón de transportación o **transportabilidad** es el enfoque de diseño mediante el cual todo componente constructivo debe permitir su traslado. La movilidad de un componente depende de su modulación y normalización. Es aquí donde el peso del elemento constructivo adquiere relevancia.

Por su parte, la **interconectividad** tiene como objetivo fundamental la comunidad estructural de todo sistema, mientras que *intercambiabilidad* implica una capacidad de sustitución por otros elementos similares. La coordinación modular es fundamental en la búsqueda de la *unidad dentro de una normalización*. *Si existe normalización, podemos pensar en intercambiabilidad*.

Los patrones de diseño son un lenguaje universal, pues cada uno de éstos describe un problema que se plantea una y otra vez en nuestro entorno, estos patrones son aplicados por el arquitecto para generar principios o soluciones constructivos.

Actualmente, el sistema constructivo es incluyente y dependiente de la prefabricación, por ello se considera que la construcción moderna tiende a la prefabricación integral, aunque puede haber prefabricación de partes determinadas o de unidades completas.<sup>5</sup>

## **Prefabricación**

La mayoría de la construcción moderna mundial es creada por medio de la prefabricación, pero ésta no es nueva, puesto que su inicio se remonta a la antigua Grecia, donde las columnas de los templos eran prefabricadas (c. g. el Partenón) .Por su parte, Leonardo Da Vinci planteó casas construidas en serie en su ciudad utópica de Loire.<sup>11</sup> Sr. Josep Paxtón, construyó el palacio de Cristal pensando en su posible reubicación.<sup>12</sup> Los sistemas prefabricados son sistemas constructivos cuyas formas y dimensiones normalizadas se fabrican en gran escala y se montan en un lugar donde se efectúa la construcción, permitiendo construir más rápida y económicamente, requiriendo en el proceso mano de obra especializada. Dicho de otra forma, la prefabricación se refiere a la fabricación de ciertos elementos de manera independiente de la estructura en que se instalaran finalmente.

### **Definición de diseños modulares**

En la construcción de una edificación se podrá generar importantes ahorros siempre que reconozca, a tiempo, que en el diseño de la construcción se deberán minimizar las mediciones, el corte de piezas y elementos, y el trabajo con piezas y elementos especiales hechos a medida. Al trabajar con diseños modulares, se trabaja con elementos estandarizados que son más fáciles de construir, generándose mayores velocidades de construcción. El diseño modular se refiere a la utilización coordinada de sistemas que hacen uso de unidades de materiales estandarizadas, en las que no se producen desperdicios de materiales.

El término modularidad es usado para denotar el concepto que genera máxima eficiencia en la construcción y mínimo desperdicio de materiales, a través del uso de componentes modulares (Hop, 1988). Una de las principales críticas a la modularidad es la falta de estética arquitectónica. Se deberá reconocer, sin embargo, que es posible generar construcciones económicas hermosas si el concepto de modularidad es utilizado adecuadamente. Finalmente, se puede concluir que el profesional que tenga en mente diseñar, optimizando el uso de elementos modulares, obtendrá como resultados fundamentales; uso económico de materiales, uso eficiente de la mano de obra, una construcción estructuralmente adecuada y, además, confortable. Adicionalmente, el diseño modular junto con conceptos más globales, como la constructibilidad, facilitará la prefabricación e industrialización de la construcción al mejorar la estandarización de las medidas y de los elementos a utilizar en ella.<sup>4</sup>

### **EVOLUCION DE LOS MATERIALES Y SISTEMAS CONSTRUCTIVOS**

Entrando al mundo de los materiales, el hombre antiguo creía que todo lo que lo rodeaba estaba formado de 4 elementos: fuego, aire, agua, tierra. Las personas del siglo XIX difícilmente entendían las razones de por qué un sólido era sólido o de por qué el sol y las estrellas brillaban. Los científicos no conocían las bases y leyes que rigen el comportamiento de la materia. En el siglo XX, nuestra ciencia ha descubierto el átomo y sus moléculas, cuyo comportamiento conocemos y predecimos hoy con la ayuda de herramientas comúnmente entendidas y utilizadas, tales como la física, la química, las matemáticas, la mecánica cuántica, la biología y la relatividad.<sup>13</sup>

Es así como la obtención de nuevos, singulares y asombrosos materiales descubiertos a través de la nanotecnología<sup>1</sup>; está modificando nuestra comprensión del mundo y nuestro futuro inmediato. La arquitectura tendrá que utilizar estos materiales, tarde o temprano, para concebir el espacio que habitaremos en el siglo XXI. La arquitectura del siglo XX posee diversas características que la hacen distinguible de las creaciones arquitectónicas realizadas en el renacimiento florentino, en el gótico inglés o en el antiguo Egipto. Cualquier persona podría deducir el origen de tal o cual arquitectura dependiendo de la construcción que observe.

El Arquitecto José Villagrán afirmaba que los estilos y tendencias acontecidos en la historia de la arquitectura, las formas arquitectónicas construidas resultantes, eran producto de dos factores fundamentales: su habitabilidad (fin causal) y el espacio (materia prima arquitectónica), los cuales no podrían materializarse sin la utilización de un procedimiento específico llamado Composición Espacio Edificatoria<sup>14</sup>

En la historia de la arquitectura, los procedimientos constructivos y los materiales de construcción han determinado en mucho las características formales y funcionales resultantes de cada edificio. Los sistemas constructivos descubiertos y los materiales disponibles en cada región y época influyeron en las soluciones ofrecidas en cada tendencia o estilo. Los griegos hicieron del mármol blanco su material predilecto y crearon procesos constructivos para explotarlo. Los romanos necesitaron una rápida expansión de su cultura a lo largo de su imperio e inventaron el concreto para producir múltiples templos rápidamente.<sup>15</sup>

Nuestro siglo se ha distinguido con creaciones arquitectónicas ideadas con materiales que, en su mayor parte, se han desarrollado y descubierto en los últimos doscientos años. En la actualidad, estos materiales han sido ya explotados al máximo mediante la creación de innumerables procedimientos edificatorios que fueron inventados por sus constructores y han permitido generar las formas singulares que distinguen a la arquitectura del siglo XXI.

El Arquitecto José Villagrán<sup>16</sup> mencionó, acertadamente en su momento, que el encontrar un nuevo procedimiento constructivo o descubrir un nuevo material, modificaría definitivamente todo concepto formal o funcional de un espacio, e inclusive, dependiendo del hallazgo, definiríamos la arquitectura. En un momento determinado, toda arquitectura concebible se vería influida por el descubrimiento de un nuevo y extraordinario material. Con su interpretación personal de la arquitectura nos ha

acercado a la comprensión de una realidad palpable próxima a ocurrir en nuestro tiempo.

“Una gran época a comenzar. Existe un espíritu nuevo. Existe una multitud de obras de espíritu nuevo que se encuentran, especialmente, en la producción industrial. La arquitectura se ahoga en las costumbres. Los “estilos” son una mentira... nuestra época fija cada día su estilo. Nuestros ojos, desgraciadamente, no saben discernirlo aún”...<sup>5</sup>

Lo anterior nos confirma que, tanto en la retrospectiva como en la prospectiva, es necesario conocer el comportamiento histórico de los materiales y sistemas constructivos existentes. Y más bajo el enfoque prospectivo que permite conocer los nuevos caminos que pueden tomar los descubrimientos y aplicaciones de la investigación de materiales en el futuro de la arquitectura, pues la evolución implica como idea fundamental la transformación y la continuidad de las formas en el universo. A continuación se muestra (en la Figura 5) un concentrado de un análisis que se centra en la evidencia evolutiva de los sistemas constructivos y la permanencia comprobada de la mayoría de los materiales de construcción durante los últimos 5000 años.

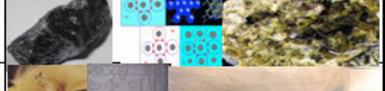
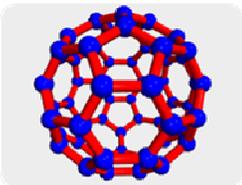
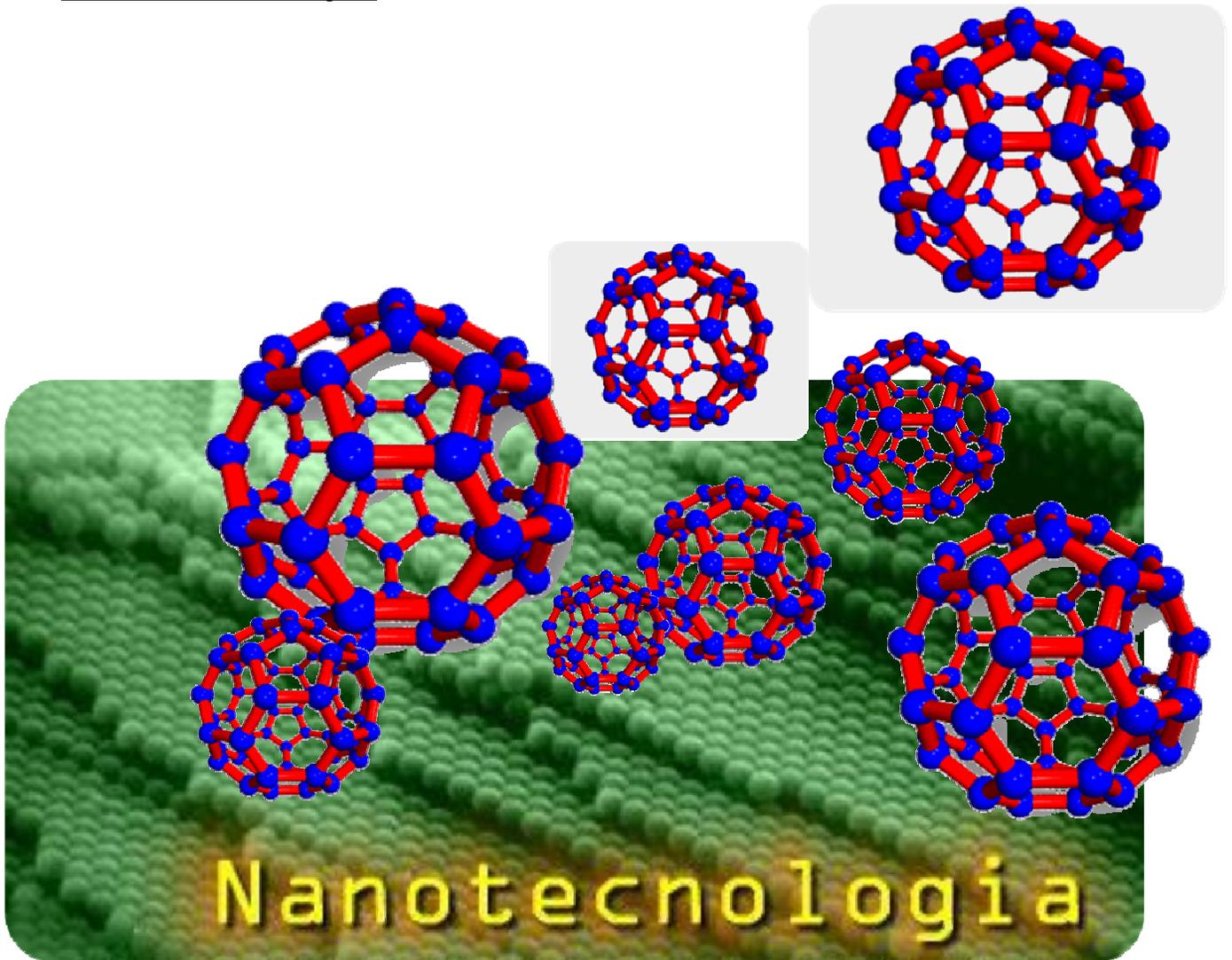
¡Evolución de M A T E R I A L E S !				
Fecha	Protagonista	Lugar	Materiales Constructivos	Representación
3200 A.C.	Cultura Egipcia	África del Norte	Madera, arcilla, ladrillos de adobe, piedra, granito.	
1400 A.C.	Cultura Griega	Europa Central	Mármol blanco, estuco, sillares de piedra y estuco.	
300 A.C.	Cultura Romana	Europa, África, Asia	Ladrillo de adobe, concreto, vidrio, hierro.	
400 D.C.	Cultura Nórdica	Europa	Madera, hierro, tierra como aislante térmico.	
600 D.C.	Cultura Islámica	Asia	Celosía de barro, mortero, ladrillo, mármol.	
1100 D.C.	Cultura Anasazi	EE.UU.	Piedra basáltica, madera, tierra como aislante térmico.	
1440 D.C.	Cultura Azteca	México	Adobo, piedra, madera.	
1350 D.C.	Gótico	Europa	Cristal, madera, piedra	
1760 D.C.	Revolución Industrial	Inglaterra	Hierro colado, acero estructural.	
1890 D.C.	Cultura Occidental	EE. UU. Europa	Petróleo, hule, nitrato de celulosa.	
1906 D.C.	Leo Hendrik	Europa	El primer plástico sintético llamado: baquelita	
1913 D.C.	Ingeniería Civil	Europa	Concreto Armado Aplicado ala Arqitectura	
1947 D.C.	Laboratorios Berl AT&T	EE. UU.	Semiconductores de silicio	
1949 D.C.	Cultura Occidental	Mundial	Plásticos Uretános, Estirenos, polivinilos, estílenos y acrílicos.	
1970 D.C.	Cultura	Túnez	Piedra, madera	
Siglo XX	Cultura Indígena Mexicana Arquitectura	Michoacán, Veracruz, Tabasco	Adobe, carrizo, bambú, palma, hoja de plátano, sácate, quiote	

Figura 1. Antecedentes constructivos históricos analizados en forma documental, mostrando los materiales de construcción usados en cada caso.

## REFERENCIA

- 
- <sup>1</sup> RENAC, Red para la Aplicación de Nanotecnologías en Materiales y Productos para la Construcción y el Hábitat, <http://www.nano-renac.com/>
- <sup>2</sup> Son B., Hwang T.S., Goo D.C., [Fire-retardation properties of polyurethane nanocomposite by filling inorganic nano flame retardant](#), Polymer-KOREA, vol. 31 (5), 404-409, (2007).
- <sup>3</sup> Woo T, Halley P, Martin D, et al., [Effect of different preparation routes on the structure and properties of rigid polyurethane-layered silicate nanocomposites](#), J, Appl. Polym. Scie., vol,102 (3): pp. 2894-2903, (2006)
- <sup>4</sup> Song L, Hu Y, Tang Y, et al., [Study on the properties of flame retardant polyurethane/organoclay nanocomposite](#), Polym. Degra. and Stab. Vol, 87 (1): pp. 111-116, (2005).
- <sup>5</sup> ASTM – D 5207 – 98, Standard Practice for Confirmation of 20 and 125mm Test Flames for Small – Scale, Burning Test on Plastic Materials.
- <sup>6</sup> ASTM - D – 3014 – 99 Standard Test Method for Flame Height, Time of Burning, and Loss of Mass of Rigid Thermoset Cellular Plastics in a Vertical Position.
- <sup>7</sup> The International Small Technology Net work, <http://www.nanotechnology.com/>
- <sup>8</sup> Nanotechnology in Construction, <http://www.nanocom.org>
- <sup>9</sup> Virgilio A., Castillo. G., Guía para la innovación tecnológica en la construcción. Universidad Católica de Chile, (1997).
- <sup>10</sup> Ocampo, R. E., Evolución y evaluación de nuevos materiales y sistemas constructivos, Tesis de Maestría en Arquitectura, UNAM, México, (1999).
- <sup>11</sup> Nicholl, C., Leonardo, El vuelo de una mente, Ed. Taurus, Madrid, (2005).
- <sup>12</sup> Tectónica, No. 19, plásticos. Monografías de Arquitectura, Tecnología y Construcción, Barcelona, (2005).
- <sup>13</sup> Drexler, K. E. La Nanotecnología, el surgimiento de las máquinas de creación. Ed. Gedisa, Barcelona, (1993).
- <sup>14</sup> Senoseain, J., Bioarquitectura, En busca de un espacio. Ed. Limusa. México. (1996).
- <sup>15</sup> Historia de la Arquitectura, ESIA Tecamachalco. Ed. Limusa México (1990)
- <sup>16</sup> Quarmby, A., Materiales plásticos y arquitectura experimental, Ed. Gustavo Gill, Barcelona, (1976).

## Nanotecnología



*En los años de preparación por venir, solo el estudio la imaginación y el pensamiento podrán transformar sus capacidades en realidades para la mente<sup>1</sup>*

## NANOTECNOLOGIA

Por nanotecnología podemos entender el estudio, diseño, creación, síntesis, manipulación y la explotación de fenómenos, propiedades y aplicación de materiales, aparatos y sistemas funcionales a través del control de la materia a nanoescala. (Ver figura I.1) Cuando se manipula la materia en dimensión tan minúscula de átomos y moléculas, surgen fenómenos y propiedades totalmente nuevas. (Ver figura I.2) Los científicos utilizan la nanotecnología para crear materiales, aparatos y sistemas novedosos y poco costosos con propiedades únicas<sup>2</sup>.

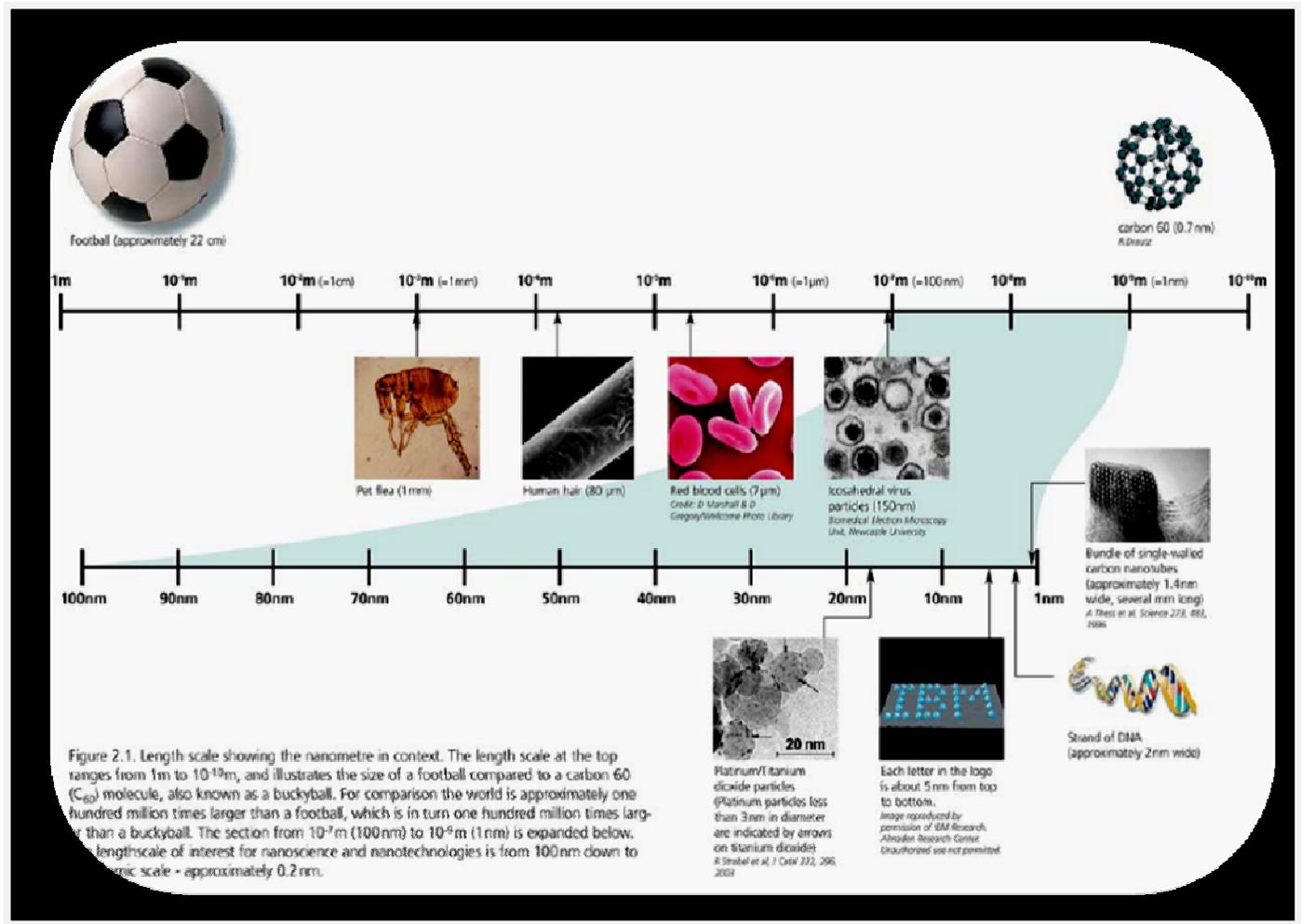


Figura I.1 Escala gráfica de las dimensiones de un nanómetro<sup>3</sup>

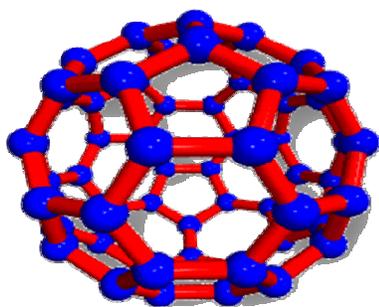
PRINCIPALES AVANCES DE NANOTECNOLOGÍA	
Fecha	Acontecimiento
Los años 40	Von Neumann estudia la posibilidad de crear sistemas que se auto-reproducen como una forma de reducir costos. Como la teoría de juegos.
1959	Richard Feynmann habla por primera vez en una conferencia sobre el futuro de la investigación científica: "A mi modo de ver, los principios de la física no se pronuncian en contra de la posibilidad de maniobrar las cosas átomo por átomo".
1966	Se realiza la película "Viaje alucinante", que cuenta la travesía de unos científicos a través del cuerpo humano. Los científicos reducen su tamaño al de una partícula y se introducen en el interior del cuerpo de un investigador para destrozarse el tumor que le está matando. Por primera vez en la historia, se considera esto como una verdadera posibilidad científica. La película es un gran éxito.
1985	Se descubren los buckminsterfullerenes (nanotubos de carbono)
1989	Se realiza la película "Cariño he encogido a los niños", misma que cuenta la historia de un científico que inventa una máquina que puede reducir el tamaño de las cosas utilizando láser.
1996	Sr Harry Kroto gana el Premio Nobel por haber descubierto fullerenes. Reconoció por vez primera una nueva forma de carbono puro en (nuestro planeta). Hasta ese momento se creía que el carbono solo existía en dos formas naturales estables: el diamante y el grafito. hasta que llegó el carbono 60.
1997	Se fabrica la guitarra más pequeña del mundo. Tiene el tamaño aproximadamente de una célula roja de sangre.
1998	Se logra convertir a un nanotubo de carbón en un nanolapiz que se puede utilizar para escribir
2001	James Gimzewski entra en el libro de récords Guinness por haber inventado la calculadora más pequeña del mundo.

Figura I.2 Avances de nanotecnología.<sup>4</sup>

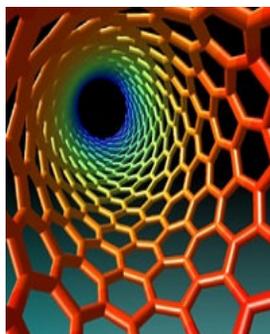
NANO-ESTRUCTURAS<sup>5</sup>

Los materiales, con características estructurales de al menos en una de sus dimensiones entre 1-100 nanómetros. Se dice que están nanoestructurados. Las nanoestructuras pueden ser subdivididas en *nanopartículas*, ***nanocapas*** y *nanohilos o nanotubos*. El enfoque de los nanomateriales es una aproximación desde abajo hacia arriba de las estructuras y efectos funcionales; de forma que la construcción de bloques de materiales son diseñados y ensamblados de forma controlada.

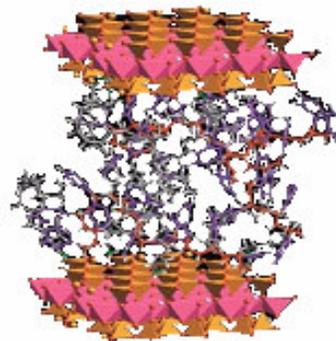
Existen tres ejemplos de las categorías básicas de nanomateriales desde el punto de vista dimensional: *cúmulos metálicos y óxidos metálicos*, ***nanocapas*** y *nanotubos de carbono*. (Ver figura I.3) Los que más han avanzado desde el punto de vista comercial son las nanopartículas de óxido metálico.<sup>6</sup>



Isodimensional



Nanotubos de Carbono



Nanoarcilla

Figura I.3 Fullerenos –Nanotubo y Arcilla

**Materiales Nanoestructurados**

La definición de materiales Nanoestructurados abarca una extensa variedad de sistemas uni-, bi-, tri-dimensionales y materiales amorfos, hechos a partir de distintos componentes y trabajados a escala nanométrica.

Los materiales nanoestructurados se consideran aquéllos cuyas dimensiones son menores a 100 nanómetros de diámetro (nanopartículas) o en al menos en una dimensión (tubos o placas).

En realidad, todo tipo de sólido conocido puede ser aprovechado para crear estos nuevos materiales. Los cuatro grupos de materiales presentes en la naturaleza, llamados metales, minerales (cerámicos y vidrios), y polímeros (maderas, telas) pueden procesarse para producir materiales nanoestructurados, ya sea como matriz o como componente manométrico. Los cuatro tipos mencionados son los materiales constructivos básicos utilizados en la arquitectura.

Algunos de los resultados que se han obtenido en las líneas de investigación actualmente son: metales cuya resistencia es cinco veces mayor que la de sus contrapartes naturales<sup>3</sup>. Se encontraron cerámicos que nunca se fracturan, sólo se deforman<sup>3</sup>. Hay materiales que cambian de color dependiendo del espectro de luz que se aplique a su superficie y que se vuelven en algunos casos totalmente transparentes<sup>3</sup>.

### NANO-COMPUESTOS (NC)

Para poder definir un material **NC**, se necesita definir que es un MATERIAL COMPUESTO (composite en inglés). Un **NC** es aquel material que está compuesto por 2 o más fases o sustancias. NO DEBE CONFUNDIRSE con la definición de un *compuesto químico* o sustancia pura de una sola fase de dos o más elementos químicos (compound, en inglés).

La fase en mayor proporción se denomina matriz y la de menor en el componente nanoscópico. La síntesis de **NC** involucra un proceso de varios pasos. El paso crítico en la elaboración de **NC** es lograr una dispersión homogénea, lo cual requiere la comprensión de la química de superficies e interfases. Una aproximación para obtenerla es a través de una buena compatibilización entre las fases.

Los **NC**, normalmente se encuentran en concentraciones muy bajas (menores de 10 pcr) distribuidos homogéneamente en la matriz. Dependiendo de la naturaleza de la matriz, los **NC** pueden ser clasificados dentro de tres grupos principales:

- Poliméricos
- Metálicos
- Cerámicos

Debido al tamaño tan pequeño de la unidad estructural (partícula, grano o fase) y a la gran relación superficie-volumen, los materiales nanoestructurados presentan un comportamiento único comparado con los materiales a escala micrométrica.

*Las propiedades de los materiales **NC** dependen no sólo de las propiedades de sus patrones individuales, sino también de su morfología y de sus características intersticiales<sup>7</sup>.*

### CLASIFICACIÓN DE NANOCOMPUESTOS

Los **NC** se pueden clasificar en 3 tipos según la dimensión del componente nanoestructurado

- **Isodimensionales:** Las 3 dimensiones del material están a escala nanométrica (partículas esféricas de sílica).
- **Nanotubos:** 2 dimensiones son a escala nanométrica y la restante es mayor (nanotubos de carbono).
- **Capas:** solo una dimensión es nanométrica las otras 2 son mayores (silicatos, arcillas bentoníticas).

De los cuales el **NC** con componente de una sola dimensión nanométrica será el reportado en esta investigación.

Los materiales compuestos nanoestructurados orgánicos-inorgánicos típicamente exhiben propiedades mecánicas superiores a otros materiales<sup>7</sup>. El tamaño de las partículas inorgánicas puede ser controlado y las propiedades intersticiales pueden ser mejoradas provocando interacciones entre las fases orgánica e inorgánica. Algunas nanopartículas han sido preparadas *in situ* durante el proceso. La técnica sol-gel ha sido aplicada para producir este tipo de **NC**. Sin embargo, una ruta más atractiva de formación de **NC** poliméricos con nanopartículas es la intercalación de arcillas organofílicas u organofóbicas según el carácter del sustrato polimérico. Las arcillas se usan como componentes inorgánicos para la construcción de **NC** híbridos ya que poseen enlaces Si-O estables y relaciones de longitud-espesor muy altos; la superficie de sus láminas pueden ser modificada y su galería puede ser ocupada por polímeros. Esta es una de las metodologías más comúnmente utilizadas por varios investigadores

ya que los silicatos laminados, como las arcillas, son minerales con gran disponibilidad<sup>8</sup>.

La rápida expansión de este campo está generando, nuevos interesantes materiales con nuevas propiedades, las cuales son desconocidas en los materiales constituyentes.<sup>9</sup>

### INTERACCIÓN DE LA [Ben] EN MATRICES POLIMÉRICAS

Los **NC** poliméricos son nuevos materiales que incluyen en su composición arcillas minerales con el fin de lograr superficies suaves y propiedades mecánicas mejoradas con respecto a la matriz virgen, además de mostrar resistencia a la flama y al desgaste.

El primer estudio sobre **NC** de arcilla fue hecho por Okada<sup>10</sup> quien dispersó montmorilonato de alquilamonio como agente de refuerzo en policaprolactama. Vaia<sup>11</sup>, estudió la cinética de la intercalación del polímero fundido y encontró el mecanismo por el cual las cadenas se difunden entre las galerías (espacio interlaminar) de las capas de silicato. Agag<sup>12</sup> estudió las propiedades térmicas y mecánicas de **NC** de polimida-arcilla. Fu y Qutubuddin<sup>13</sup> estudió la exfoliación de las capas de montmorilonita organofílica en poliestireno. También se han estado realizando diversos estudios con polímeros termofijos. Lee y Jang<sup>14</sup> reportaron la caracterización de un compuesto de resina epóxica y arcilla preparada por polimerización en emulsión. Kornmann<sup>15</sup> estudió **NC** basados en resina poliéster insaturada y arcilla montmorilonita modificada por un agente de acoplamiento de xilano.

#### Nanocompuestos poliméricos con arcilla laminar

Cuando se mezcla una arcilla laminar con un polímero, pueden formarse 3 tipos de materiales. El primer tipo es el material compuesto convencional, es decir, el que contiene arcilla en forma de tactoides que son capas o láminas aglomeradas de la arcilla, sin intercalación. El segundo tipo es un **NC** intercalado polímero-arcilla la distancia entre las capas de silicato se incrementa pero se mantiene relativamente constante. El tercer tipo es un **NC** polímero arcilla exfoliado las láminas de arcilla están altamente dispersas en la matriz polimérica, con una distancia y orientación al azar. El

**NC** exfoliado mejora las propiedades, debido a la dispersión homogénea de la arcilla y el área interfacial que se logra entre el polímero y la arcilla.<sup>16</sup> Como se muestra en la figura siguiente.

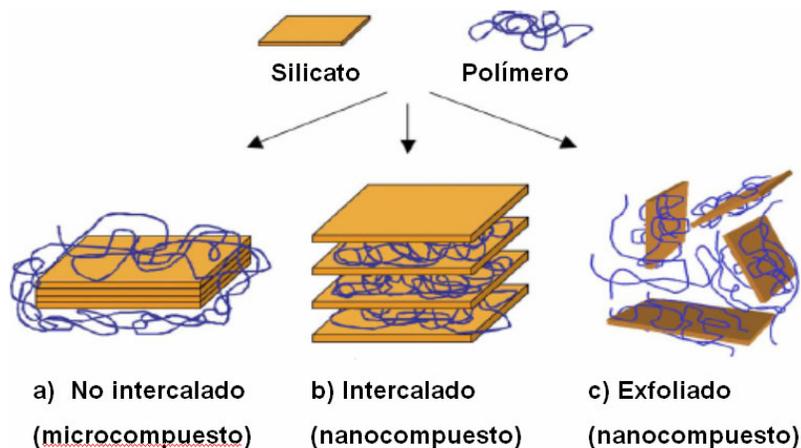


Figura I.4 Tipos de nanocompuestos poliméricos con arcilla lamina

EL **NC** exfoliado normalmente presenta propiedades superiores al polímero virgen, debido a la dispersión homogénea de la arcilla y el área interfacial que se logra entre el polímero y la arcilla.

La exfoliación de las arcillas puede producirse por alguno de los siguientes procesos:

- Polimerización de un monómero en presencia de una arcilla modificada.
- Formulación de polímeros en estado fundido con una arcilla modificada
- Suspensiones exfoliadas, seguido de su polimerización o formulación en fundido
- Condiciones del proceso de extrusión
- Otros métodos.

La compatibilidad entre las capas de arcilla y la matriz polimérica se alcanza a través de reacciones de intercambio iónico sobre la arcilla. Esto incrementa la organofilicidad de la superficie de la capa de la arcilla y mejora el mojado con la matriz polimérica, lo cual favorece la dispersión y exfoliación originando mejores propiedades en los materiales. La eficiencia del **NC** está basada en la uniformidad de la dispersión de las placas a través de la matriz.

## ARCILLA

Para una mejor comprensión del componente nanoestructurado de la sección que precede a continuación se describe su estructura y su reacción de intercambio iónico.

La Bentonita [Ben] es una arcilla del grupo de los filosilicatos (del gr. filos = hoja) lo que indica que su morfología es en forma de láminas u hojas.<sup>17</sup> La fórmula química de la [Ben] es:  $(\text{Mg}, \text{Ca})\text{O}:\text{Al}_2\text{O}_3\text{Si}_5\text{O}_{10}n\text{H}_2\text{O}$  su red cristalina consiste en láminas de 1 nm de espesor, las láminas se organizan paralelamente para formar paquetes con un espacio regular entre ellas, llamado espacio interlaminar o galería.

Cada lamina de [Bentonita] está a su vez compuesta de 3 “subcapas” como se observa en la figura I.5, hay una subcapa de tetraedros seguida por una de octaedros, seguida por otra de tetraedros (T:O:T). Ver Figura I.5

Sobre la superficie externa de los tetraedros se encuentran los iones sodio.

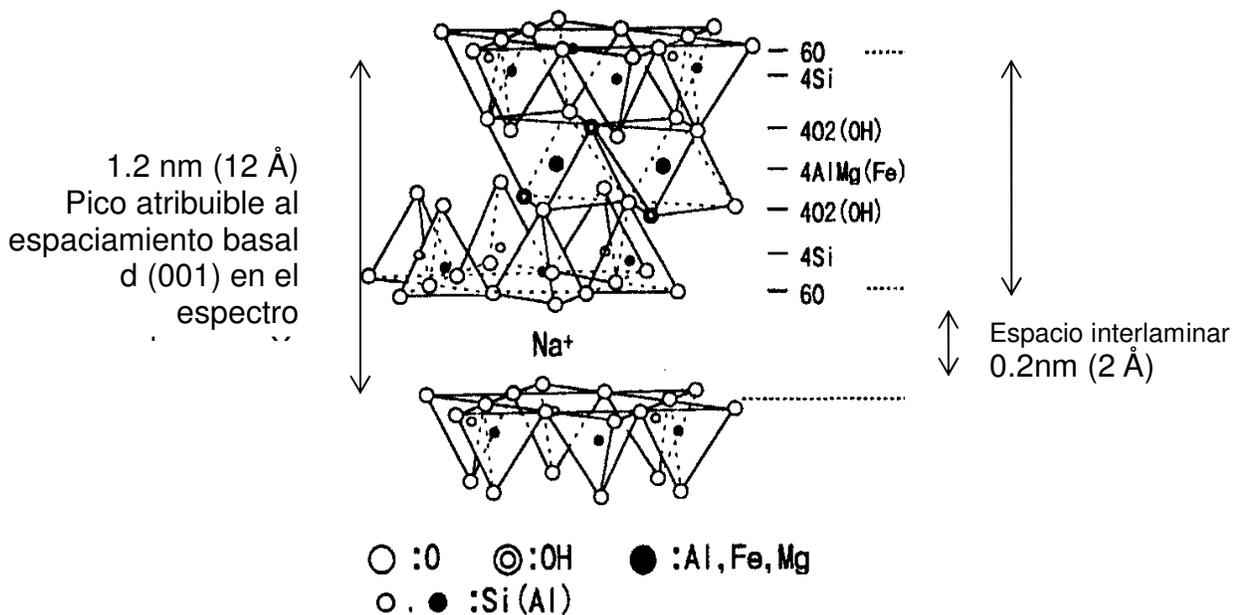


Figura I.5 Representación estructural de la Bentonita<sup>18</sup>

### Características principales de las arcillas: laminares o filosilicatos

- Están formadas por cristales muy pequeños (tamaño de partícula (inferior a 2 μm))

- Son capaces de variar su composición química. Tienen capacidad de intercambiar iones.
- Presenta morfología laminar (filosilicatos). Pueden alojar moléculas en el interior de su espacio interlaminar.
- La superficie de la láminas presente una actividad química considerable, captan iones o moléculas sobre sus superficies o en las partes internas de sus galerías.

Así pues, las arcillas son activas tanto física como químicamente y absorben el agua para formar suspensiones, mezclas pastosas y pastas, cambiando su tamaño de partícula efectivo.

### **INTERCALACIÓN DE LA BENTONITA**

Los cambios de propiedades que pueden producirse por la intercalación de especies orgánicas en el espacio interlaminar son muchos y muy variados, de ahí que despierten gran interés, desde el punto de vista científico y el de sus aplicaciones. Por ejemplo, las propiedades tixotrópicas mejoran al tratar la arcilla con compuestos orgánicos, que dan origen a fórmulas diversas de pinturas o de cosméticos. La intercalación de especies orgánicas como los alcoholes, las proteínas y los hidrocarburos en el espacio interlaminar se realiza de manera muy fácil, expandiendo la estructura laminar y creando así una porosidad interna en el material, con lo cual la arcilla se convierte en una verdadera *esponja molecular*.

Al poner en contacto una solución acuosa de una sal con cationes orgánicos con la arcilla entra en el espacio interlaminar los cationes con estado variable de hidratación, y ocurren reacciones de intercambio iónico. La magnitud está determinada por la capacidad de intercambio iónico de la arcilla. Los cationes orgánicos quedan fijos a las láminas de arcilla por enlaces iónicos y el catión sodio pasa a solución con el contraión de la sal original.

Las moléculas orgánicas se acomodan entre las láminas de la arcilla produciendo un efecto de expansión que varía según el tamaño de la cadena orgánica y la forma en que su estructura se acomode en la galería.<sup>19</sup> Ver figura I.6.

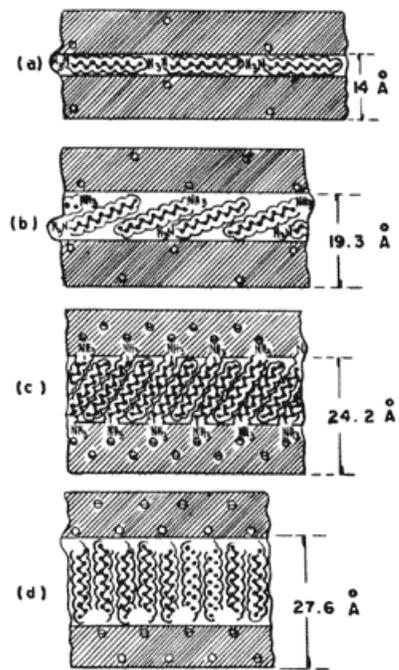


Figura. I.6 Arcillas químicamente modificadas

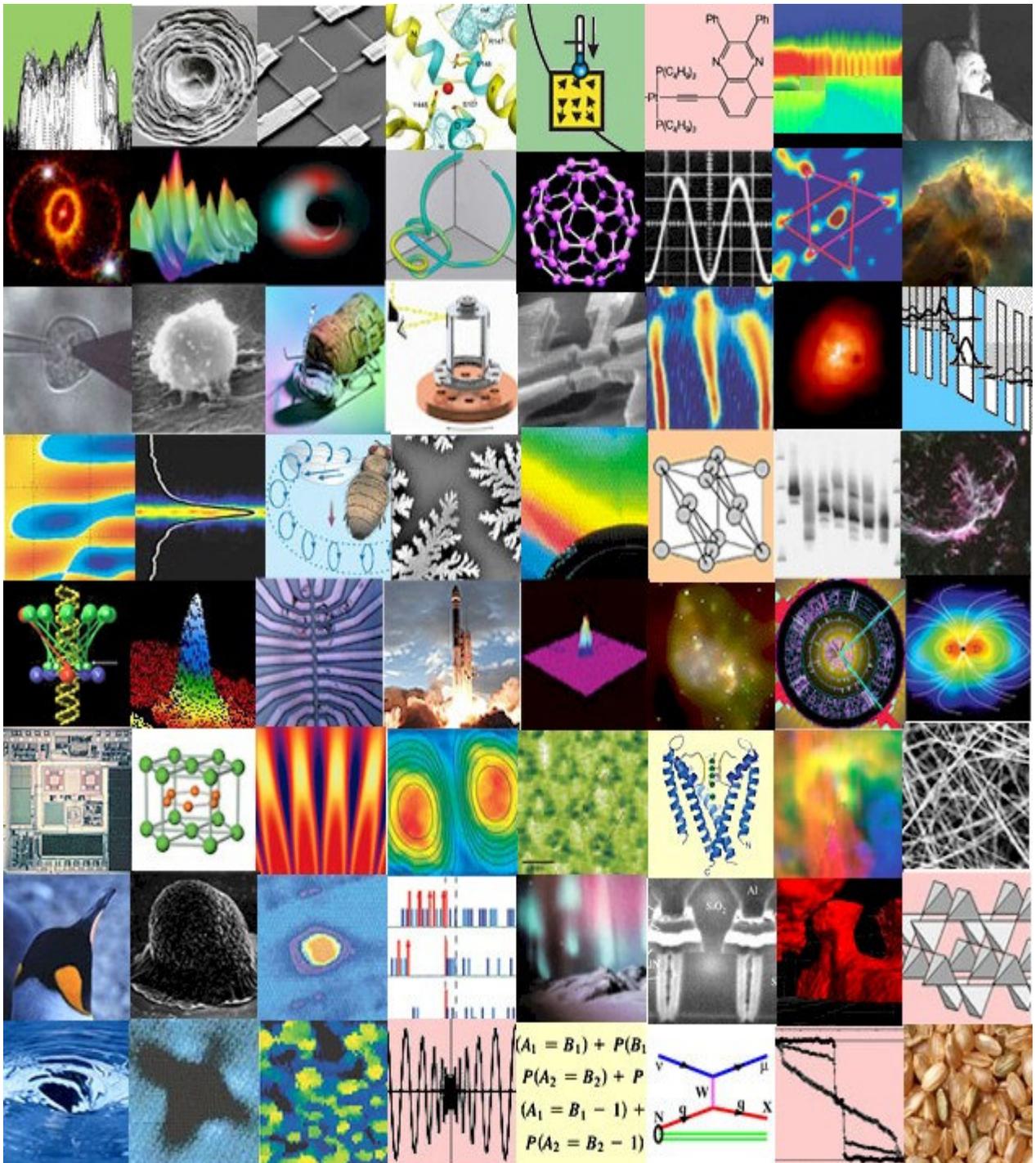
## REFERENCIAS

- 
- <sup>1</sup> Drexler, K. E. La Nanotecnología, el surgimiento de las máquinas de creación. Ed. Gedisa, Barcelona, (1993).
- <sup>2</sup> Nanotechnology in Construction, <http://www.nanocom.org>
- <sup>3</sup> RENAC, Red para la Aplicación de Nanotecnologías en Materiales y Productos para la Construcción y el Hábitat, <http://www.nano-renac.com/>
- <sup>4</sup> Nanoscience and nanotechnologies: opportunities and uncertainties, Ed. The Royal Society and The Royal Accademy of Engineering, Londres, (2004), Ref: 19/04, <http://www.royalsoc.ac.uk/document.asp?id=2023>
- <sup>5</sup> Ajayan P. M., Handbook of Nanostructures Materials and Nanotechnology, pp 375-403, (2000).
- <sup>6</sup> Development of composites materials. Design in new materials, Oostkamp: ATICHTING Kunstboekp., 8 – 55, (2002).
- <sup>7</sup> Ibid, pp 375-403
- <sup>8</sup> Dietsche, F. Thomann, R. Thomann, Y ., Journal of Applied Polymer Science, pp 396-405, (2000).
- <sup>9</sup> Ocampo, R. E., Evolución y evaluación de nuevos materiales y sistemas constructivos, Tesis de Maestría en Arquitectura, UNAM, México, (1999).
- <sup>10</sup> Okada A, Kawasumi M, Usuki A, Kojima Y, Kurauchi T, Kamgaito O, Mater. Res. Soc. Proc., pp 171-175, (1990).
- <sup>11</sup> Vaia R A, Jandt K D, Kramer E J, Giannelis E P, Macromolecules, pp 8080 - 8085, (1995).
- <sup>12</sup> Agag T, Koga T, Takeichi T, Polymer, pp 3399 -3405, (2001)
- <sup>13</sup> Fu X, Qutubuddin S, Polymer, pp 807-818, (2001).
- <sup>14</sup> Lee D C, Jang L W, J. Appl. Polym. Sci. pp 68-73. (1998)
- <sup>15</sup> Kornmann X, Berglund L A, Sterte J, Giannelis E P, Polymer Engineering & Science, pp1351-1358, (1998).
- <sup>16</sup> Burnside SD, Giannelis EP, Journal of Polymer Science, pp 1595-1604, (2000)
- <sup>17</sup> Besoain E, Mineralogía de Arcillas de Suelos, Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José, Costa Rica. 1985, pp12-56

<sup>18</sup> Shih Y, Wang Y, Jeng R, Wei K, Expandable graphite systems for phosphorus-containing unsaturated polyesters. Enhanced thermal properties and flame retardancy, *Polymer Degradation and Stability*, pp 339-348, (2004).

<sup>19</sup> Walz R, Clariant H, División de pigmentos y aditivos, Estabilidad mecánica y protección efectiva. Protección ignífuga moderna para materiales compuestos, *Plásticos Universales*, pp 140-141, (2004).

## Materiales



*La materia prima de la arquitectura es el espacio, mientras que los materiales constructivos son materia prima de la forma arquitectónica construida<sup>1</sup>*

**MATERIALES**

En todo momento, la aportación, la originalidad y la innovación requirieron diversas tecnologías constructivas, resultando en estructuras y espacios característicos. Con cada descubrimiento un nuevo reto, con cada solución un nuevo “conocimiento”. Se debe considerar cada idea, cada camino, cada descubrimiento y cada invento actual para definir y conocer la arquitectura del futuro.

Un edificio es un espacio arquitectónico construido, diseñado para cumplir con las condiciones y requerimientos de habitabilidad de sus ocupantes en un lugar y tiempo determinado, para lo cual se hace necesaria la utilización de materiales.<sup>2</sup>

***Materiales en la ingeniería***

Los materiales son sustancias de las que están formados los objetos o productos, materiales y energía son los ingredientes básicos para el desarrollo de la humanidad, desde el punto de vista material. Es así como materiales y energía permiten a la humanidad mejorar su nivel de vida.

Las materias primas son las primarias de los materiales que se pueden extraer de la naturaleza y que fueron el origen de la gran mayoría de los artículos que se dispusieron por mucho tiempo para aplicaciones en la humanidad, tales como:

- 1) Los minerales: pirita, magnetita, antracita, etc.
- 2) Los petróleos.
- 3) Las rocas y yacimientos cerámicos

Son materias primas secundarias las que se obtienen a partir de las primarias, tras un proceso de ingeniería, como: Cemento, Acero, Vidrio, Polímeros, etc. Las materias primas son fruto de la Ingeniería de Materiales.<sup>3</sup>

**Familias y tipos**

Los materiales industriales alcanzan un amplio espectro de aplicaciones y están constituidos de las materias primas más diversas. Para proceder a su sistemático estudio es necesario establecer familias de acuerdo con los criterios preestablecidos.

Un criterio aceptado universalmente es el que singulariza las familias en función de la naturaleza de los componentes más simples de los materiales. En este sentido, se habla de materiales: metálicos, cerámicos, y polímeros. (Ver Figura II.1)

PROPIEDADES DE LOS MATERIALES	
<b>COMPOSICION + TIPO DE ENLACE</b>	
<b>Materiales metálicos</b>	
- Compuesto de sustancias inorgánicas fundamentalmente metales, sin conformar óxido ni sales metálicas.	
- Tipo de enlace interatómico: metálico, conformado, estructura cristalina específico de los metálicos.	
- Resistencia aceptable hasta media temperatura.	
- Excelentes propiedades ferromagnéticas.	
- Buenos conductores del calor y la electricidad.	
- Tratables térmicamente para aumentar su resistencia mecánica.	
- Tenaces y deformables, en general, altas densidades, moldeables, absorcion de vibraciones.	
- Ejemplos: aceros, aluminios, cobres, titanio, súper aleaciones, etc.	
<b>Materiales cerámicos</b>	
- Compuestos de sustancias inorgánicas fundamentalmente óxidos y sales metálicas, excluyendo me-tales puros.	
- Tipo de enlace interatómico iónico conformando estructura cristalina especifica de los cerámicos.	
- Malos conductores de calor y electricidad. No es maleable.	
- Propiedades ópticas adecuadas a (transparencia).	
- Relativamente inertes ante el metal fundido. Convierte las vibraciones de sonido en electricidad.	
- Frágiles e indeformables, resistencia a altas temperaturas, densidades medias.	
- Ejemplos: Ladrillos, porcelanas, vidrios, nitruros.	
<b>Materiales poliméricos</b>	
- Compuesto de sustancias orgánicas en base al C, H, O y otros elementos no metálicos.	
- Tipo de enlace interatómico: covalente conformando largas cadenas lineales o redes, con nula o media cristalinidad.	
- Resistentes a bajas temperaturas.	
- Malos conductores del calor y la electricidad.	
- Frágiles unos, tenaces y plásticos otros.	
- Fácilmente moldeables en delgadas películas flexibles e impermeables. Buenos aislantes de electricidad. Resisten a la humedad, Resisten a la carga. Presentan excelente ductilidad, resisten al impacto.	
- Ejemplos: polietileno, poliéster, poliuretano, nylon y muchos otros.	
<b>COMPOSICIÓN MEZCLA + LOS TRES PRIMEROS</b>	
<b>Materiales compuestos</b>	
- Son compuestos aquellos que son dos o más materiales descritos en los párrafos anteriores, tendentes a mejorar las propiedades débiles en unos y potenciar las fuertes de los otros, pero conservando fuertemente su forma inicial.	
- El material a potenciar de propiedad débil se denomina matriz y el que potencia se denomina refuerzo. El hormigón armado es un ejemplo universal de material compuesto: la matriz, el hormigón, es reforzada por la varilla metálica, para conseguir mejores resistencias a la tracción.	
- Se pueden componer normalmente: Polimeros con metálicos y cerámicos. Metálicos con cerámicos en el que el primer material nombrado hace de matriz.	
- Bajo costo y alta resistencia, del acero adecuada resistencia a la corrosión proporcionada por el titanio.	
- Ejemplos: Triplay de madera, fibra de vidrio, concreto, concreto armado.	

Figura II.1 Tabla de propiedades de los materiales.<sup>4</sup>

ELEMENTOS DE LA TABLA PERIODICA

Todos los materiales conocidos son materia formada de distintas especies atómicas enlazadas, todas ellas constituidas de muy variados y diversos elementos. Es así como los materiales son mezclas de múltiples compuestos químicos, de aquí la importancia de conocer los elementos existentes.

Actualmente son 112 elementos. Combinando los elementos químicos entre sí, se pueden generar compuestos cuyas propiedades dependen de su naturaleza, tipo de enlace y estructuras moleculares o atómicas. Todos los elementos que existen en la naturaleza están agrupados en especies estructurales atómicas o moleculares. La única excepción son los llamados gases raros o nobles: helio, argón, criptón, xenón y radón, existen en forma monoatómica. El que dos elementos puedan combinarse entre si, depende de sus propiedades periódicas (tal como su electronegatividad) y su configuración electrónica.

**Tabla periódica de los elementos**

Grupo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
	I	II											III	IV	V	VI	VII	VIII	
Periodo																			
1	1 H																	2 He	
2	3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne	
3	11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar	
4	19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr	
5	37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe	
6	55 Cs	56 Ba	* Lu	71 Hf	72 Ta	73 W	74 Re	75 Os	76 Ir	77 Pt	78 Au	79 Hg	80 Tl	81 Pb	82 Bi	83 Po	84 At	85 Rn	
7	87 Fr	88 Ra	** Lr	103 Rf	104 Db	105 Sg	106 Bh	107 Hs	108 Mt	109 Ds	110 Rg	111 Uub	112 Uut	113 Uuq	114 Uup	115 Uuh	116 Uus	117 Uuo	118 Uuo
Lantánidos	+		57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb			
Actínidos	**		89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No			

Alcalinos	Alcalinotérreos	Lantánidos	Actínidos	Metales de transición
Metales del bloque p	Metaloides	No metales	Halógenos	Gases nobles

Figura II.2Tabla Periódica<sup>5</sup>

## ESTADOS FÍSICOS DE DE LOS MATERIALES

Los materiales naturales están presentes en la naturaleza en un de tres estados físicos posibles: los sólidos, los líquidos y los gases.

De estos tipos de materiales, los materiales sólidos, se clasifica a su vez en metales, cerámicos y polímeros, la mezcla de almenos dos de ellos da lugar a los materiales compuestos. Los 4 tipos son considerados como los materiales constructivos de la arquitectura moderna.

La materia prima de la arquitectura es el espacio, mientras que los materiales constructivos son materia prima de la forma arquitectónica construida<sup>6</sup>

## CLASIFICACIÓN CLÁSICA DE MATERIALES SÓLIDOS

Los materiales sólidos pueden ser metálicos, covalentes moleculares, covalentes no moleculares y iónicos.

Los **materiales sólidos metálicos** son elementos químicos que generalmente se muestran opacos o lustrosos en la superficie. Son buenos conductores de la electricidad, el calor y cuando son pulidos se convierten en buenos reflectores de la luz. Poseen alta densidad, característica que presenta una materia que agrupa sus elementos en estructuras atómicas sumamente compactas. Los metales son uno de los materiales constructivos básicos utilizados en las estructuras.

Los **materiales sólidos covalentes moleculares** son un grupo de materiales cuya característica común es que forman moléculas.

Aquellas de gran tamaño son en general aislantes de calor y electricidad y son conocidas con el nombre de polímeros. Un polímero es una construcción molecular que utiliza repetitivamente pequeñas y sencillas unidades químicas. En algunos casos la repetición es lineal, que lo hace verse como una cadena conectada por sus eslabones, en otros casos las cadenas están ramificadas o interconectadas para formar estructuras o redes tridimensionales. La unidad repetitiva que los constituye y que en muchos casos es la materia prima para formarlos es llamada monómero. La longitud de la cadena del polímero está determinada por el número de monómeros contenidos en ella. A lo anterior se le define como el **grado de polimerización**.

La mayoría de los plásticos conocidos y todas las fibras naturales son polímeros, mismos que son usados en construcción moderna en forma de madera, algodón, plásticos, existen también los sólidos no moleculares. Ejemplos, diamante, carbón, cuyos usos en la construcción son mínimos, fibras sintéticas, pintura.

Los **materiales sólidos iónicos** son sustancias conocidas como inorgánicas y no metálicas, generalmente usados en funciones que impliquen grandes temperaturas. Los materiales sólidos iónicos son llamados cerámicos. Si son cristalinos y vidrio si son amorfos. Los materiales formados por óxidos, carburos, dióxidos y nitratos son denominados cerámicos.

Los cerámicos no son solamente usados en artículos artesanales, mobiliarios sanitarios, sino que tienen aplicaciones más especializadas. En la arquitectura para la edificación. Los cerámicos fundamentalmente concreto, tabique de barro, adobe, vidrio y losetas.<sup>1</sup>

### PROPIEDADES DE LOS MATERIALES CONSTRUCTIVOS

Ya se mencionó, los principales materiales constructivos en la actualidad son los metales, cerámicos y polímeros, mismos que, para uso de la estructura del inmueble importa conocer la magnitud de ciertas propiedades como; resistencia, estabilidad, bajo peso, volumen y apariencia óptico háptica, que le permitan cumplir eficientemente con los objetivos requeridos por el sistema constructivo específico. Además le permita cumplir con los patrones requeridos de sistematización, industrialización, modulación, racionalización, normalización, transportación, interconectividad e intercambiabilidad<sup>1</sup>.

La *resistencia* de un material es la capacidad que tiene éste para soportar las condiciones externas requeridas de carga y ambientales. Dentro de esta propiedad se despliegan la tracción, compresión, torsión, flexión, esfuerzo cortante, fricción, resistencia a la humedad, resistencia térmica y resistencia acústica, mismas que serán detalladas a continuación.<sup>3</sup>

La **compresión** es la fuerza más simple de la naturaleza y generalmente es la expresión directa de la gravedad terrestre. La gravedad mantiene a todos los cuerpos naturales y estructuras creadas por el hombre, firmes a la superficie terrestre. La *compresión* es una acción mecánica que tiende a reducir el volumen de un objeto al ejercer una presión sobre él.

Mientras que la **tracción** es un esfuerzo contrario a la compresión, es una fuerza que, aplicada a un objeto, intenta estirarlo impidiéndole contraerse. Es importante mencionar que un material constructivo, que será usado en la edificación, debe ser evaluado únicamente en función de la tracción y la compresión que resisten.

La **tracción y la compresión** son las dos formas más puras del esfuerzo y son las bases de los esfuerzos de *torsión*, *flexión* y *cortante* (esfuerzo combinado que trata de cortar en dos piezas un componente estructural). Por ello se dice que los esfuerzos combinados de tracción y compresión generan esfuerzos llamados complejos, en los cuales, un componente estructural resiste en función de la forma de su sección y su forma volumétrica.

La **torsión** es un esfuerzo complejo que ocasiona una deformación del cuerpo estructural sometido a dos partes de fuerzas que actúan en direcciones opuestas y en planos paralelos distantes, de modo que cada sección del mismo objeto sufra una rotación respecto a otra sección próxima. Mientras que la *fricción* es la resistencia que se opone al deslizamiento o la rodadura de la superficie de un cuerpo sobre la de otro. Por su parte, la **flexión**, como fuerza combinada, genera una deformación de un componente estructural cuando la pieza se halla sometida a fuerzas transversales,

Generalmente situadas en un mismo plano y que actúan perpendiculares al eje de la pieza. Por el efecto de estas fuerzas, la pieza cede y se deforma.

La **resistencia al agua** es necesaria en la mayoría de los materiales de construcción. Si el material se degrada o pudre con el contacto directo del agua, se pierde entonces sus posibilidades de uso en la industria de la construcción. Si el material resiste a la humedad ambiental y también a la acción directa del agua, su durabilidad aumenta y su versatilidad también.

La **resistencia térmica** es fundamental para un material que es usado en un componente constructivo. No sólo debe resistir las inclemencias de un incendio, sino procurar al espacio interno el aislamiento térmico necesario para crear un ambiente agradable. Sometidos a temperaturas externas, los elementos constructivos pueden fracturarse o derretirse, es por ello que la formación de un material durante un incendio

también debe considerarse. En climas cálidos o fríos, el material que integra al componente constructivo puede ayudar a mantener una temperatura aceptable en el interior del edificio. Los materiales poco densos son mejores aislantes térmicos que los materiales muy densos.

Por otro lado, la **resistencia acústica** es un factor poco evaluado en los materiales usados comúnmente en la construcción. Sin embargo, el aislamiento acústico es muy importante en un edificio. Un componente constructivo cuya función sea dividir el espacio, debe asegurar el mínimo de privacidad y tranquilidad interior. Por lo general, los materiales que son aislantes térmicos son buenos aislantes acústicos.

La **estabilidad** de un material es la capacidad que tiene éste de mantener su integridad física, formal y dimensional a pesar de las condiciones externas incidentes a lo largo de un tiempo determinado. El material debe reunir cierta estabilidad dentro de rangos permisibles que permitan una deformación aceptable, una constancia en su estado físico, una durabilidad, una persistencia de su volumen, poca fragilidad, una persistencia en su acabado, y por último, una disponibilidad en función de su abasto local.

La **deformación** aceptable es la característica propia de un material de mantener su forma constante a pesar de los esfuerzos incidentes sobre él. Cuando se trabaja una estructura dentro del rango de las deformaciones temporales, se dice que se trabaja dentro del límite elástico del material. Si se diseña una estructura dentro del rango de resistencias donde la deformación comienza a ser constante o permanente, sin llegar a la ruptura, se dice que se trabaja dentro del límite plástico del material.

La **persistencia cromoháptica** debe estar presente en cualquier componente constructivo, pues un material que pierde su textura con el uso o el color con el contacto de la radiación solar, no es adecuado para la construcción.

El **peso** de un material depende de su relación ligereza / densidad. Un material sumamente denso es pesado, mientras que los materiales poco densos son ligeros.

Dentro de la *apariencia óptico háptica* entra la *plasticidad*, la *maleabilidad* y la *versatilidad*. La ***plasticidad*** en la industria de la construcción, es la capacidad de los materiales de permitir su aplicación a formas libres construibles. Un material es plástico si adquiere determinada forma por efecto de un proceso de producción, conservándola indefinidamente o permanentemente después de su fabricación.

Los materiales predominantemente plásticos permiten su ***Moldeabilidad***, siendo ésta la capacidad de un material de permitir que, el componente que conforma, pueda ser reproducido ampliamente mediante un molde específico y único. A este proceso se le llama producción en serie.

Dentro de las propiedades antes descritas, la resistencia, la estabilidad y el peso, son consideradas como funcionales, mientras que la *apariencia óptico háptica* representa una propiedad estética de los materiales constructivos. En forma sintetizada y esquemática se tiene lo siguiente.<sup>7</sup>

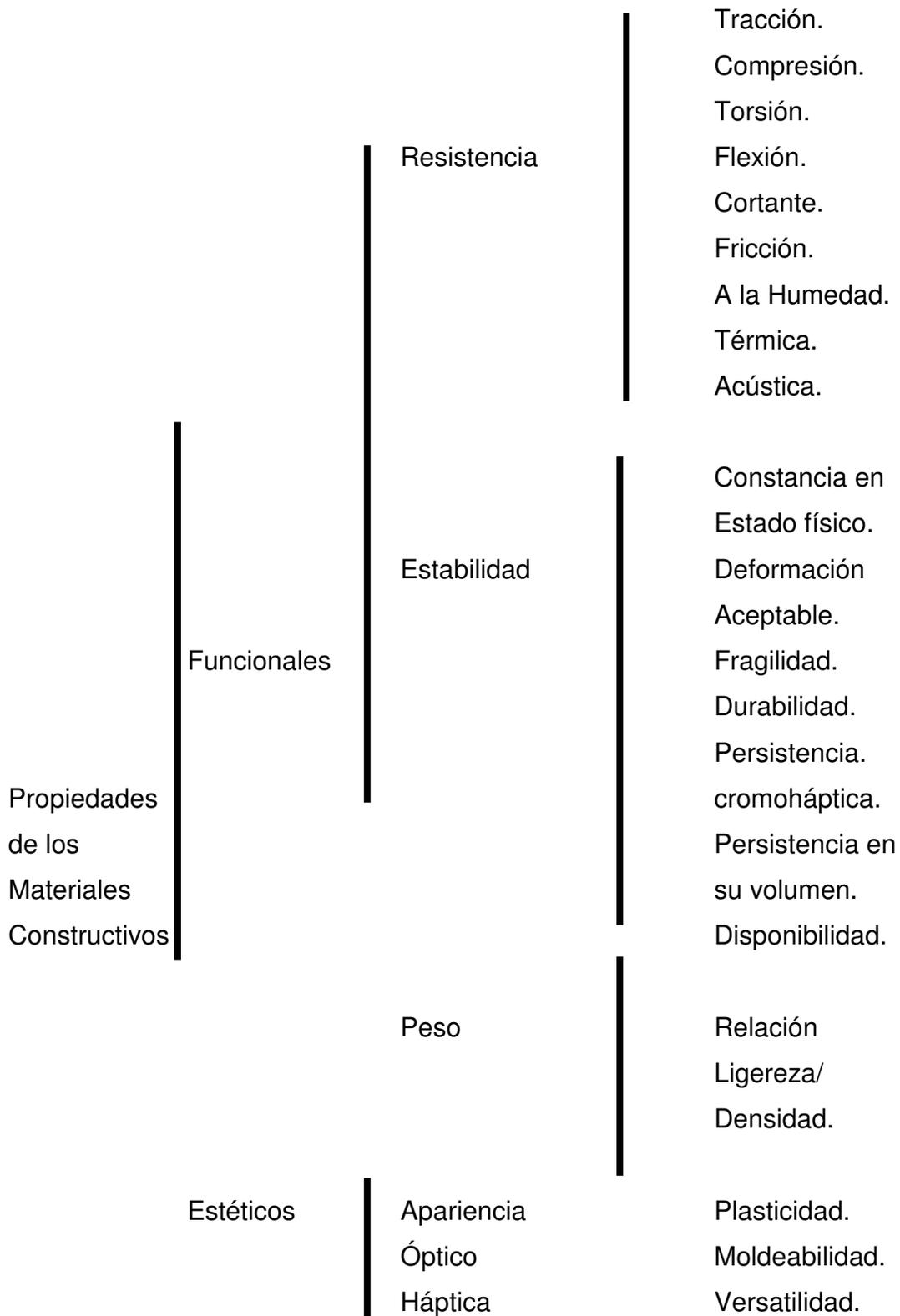


Figura II.3 Propiedades de los materiales en la construcción<sup>1</sup>

## PROPIEDADES MECANICAS DE LOS POLIMEROS

Cuando se compara la estructura de los polímeros con el vidrio, los cerámicos y los metales, se encuentra que estos últimos presentan una estructura compacta. La diferencia radica en que los polímeros presentan estructuras moleculares, mientras que los metales, los cerámicos y el vidrio presentan estructuras atómicas.

La interpretación de los ensayos físicos que se utilizan frecuentemente para caracterizar polímeros se describen brevemente a continuación.

La **resistencia a la tensión** es la capacidad que presentan los polímeros a oponerse a la deformación por estiramiento, determinándose por la fuerza de tensión por unidad de área transversal que resiste una muestra antes de ser rota. Los valores altos indican gran resistencia.

La **resistencia a la flexión** es una medida del esfuerzo que soportan los polímeros al ser doblados. Con valores altos de resistencia a la flexión se tienen materiales que soportan grandes cargas y son rígidos, características necesarias para su aplicación en la fabricación de aparatos electrodomésticos, instrumentos, estuches y otros más. Para el caso de aplicaciones que se requiera flexibilidad, como suela de tenis, mangueras y empaques, son necesarios módulos de flexión bajos.

La **resistencia a la compresión** es la propiedad que presentan los polímeros a oponerse a una fuerza que los presiona o comprime hasta obtener un grado de ruptura o deformación. Esto es importante también en las losetas, pisos, muebles, tuberías, tuberías enterradas y contenedores. Los valores altos indican gran resistencia a la compresión.

La **deformación de carga constante** es la deformación de una probeta causada por la aplicación de cargas determinadas. Un alargamiento o deformación recuperables se llama deformación elástica, en este caso las moléculas presionadas vuelven a ocupar sus posiciones originales después de la desaparición de la fuerza aplicada.

La **elongación a la fractura** es la máxima extensión que alcanza una probeta hasta la ruptura, reportándose en porcentaje.

Uno de los ensayos mecánicos que suministra más información es la determinación de la curva esfuerzo-deformación.

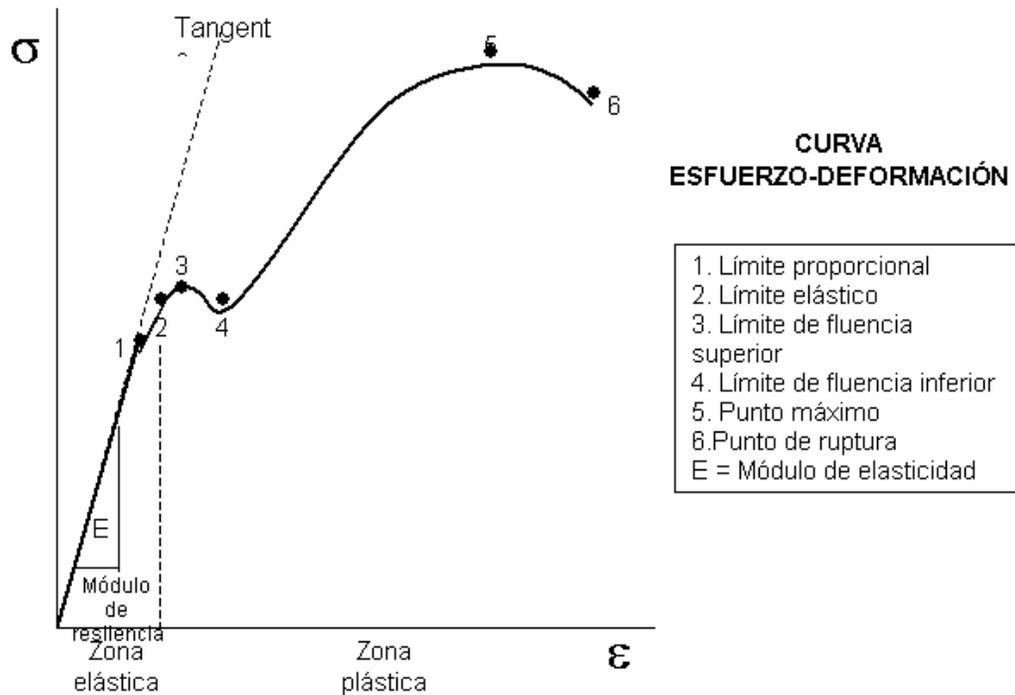


Figura II.4 Curva de Esfuerzo – Deformación

El primer trazo corresponde a una línea recta del punto 0 al 1. En esta región el esfuerzo y la deformación son directamente proporcionales y el comportamiento es lineal.

El límite de la región elástica y el punto de ruptura tiene lugar una gran deformación plástica el material se denomina dúctil. Sin embargo, si la ruptura ocurre poco después del límite elástico el material se denomina frágil.

En la figura II.6 puede observarse de manera general se pueden agrupar los materiales dentro de dos categorías: a) materiales dúctiles y b) materiales frágiles. Los diagramas

de materiales dúctiles se caracterizan por ser capaces de resistir grandes deformaciones antes de la rotura, mientras que los frágiles presentan un alargamiento bajo cuando llegan al punto de rotura. Pero hay otros estados combinados como pueden observarse en la figura II.5.

En un diagrama se observa un tramo recta inicial hasta un punto denominado límite de proporcionalidad. Este límite tiene gran importancia para la teoría de los sólidos elásticos, ya que esta se basa en el citado límite. Este límite es el superior para un esfuerzo admisible.

### **Elementos de diagrama esfuerzo – deformación** (ver figura II.4)

1. Límite de proporcionalidad: hasta este punto la relación entre el esfuerzo y la deformación es lineal;
2. Límite de elasticidad: más allá de este límite no recupera su forma original al ser descargado, quedando con una deformación permanente.
3. Límite de fluencia superior: aparece en el diagrama un considerable alargamiento o cedencia sin el correspondiente aumento de carga. Este fenómeno no se observa en los materiales frágiles.
4. Límite de fluencia inferior.
5. Punto máximo o esfuerzo último: carga máxima del material
6. Punto de ruptura: Cuando el material falla.

El comportamiento esfuerzo-deformación de un material depende de cómo se realice el ensayo y del estado físico del material. En general, los polímeros se clasifican en 5 categorías ver Figura II.5.

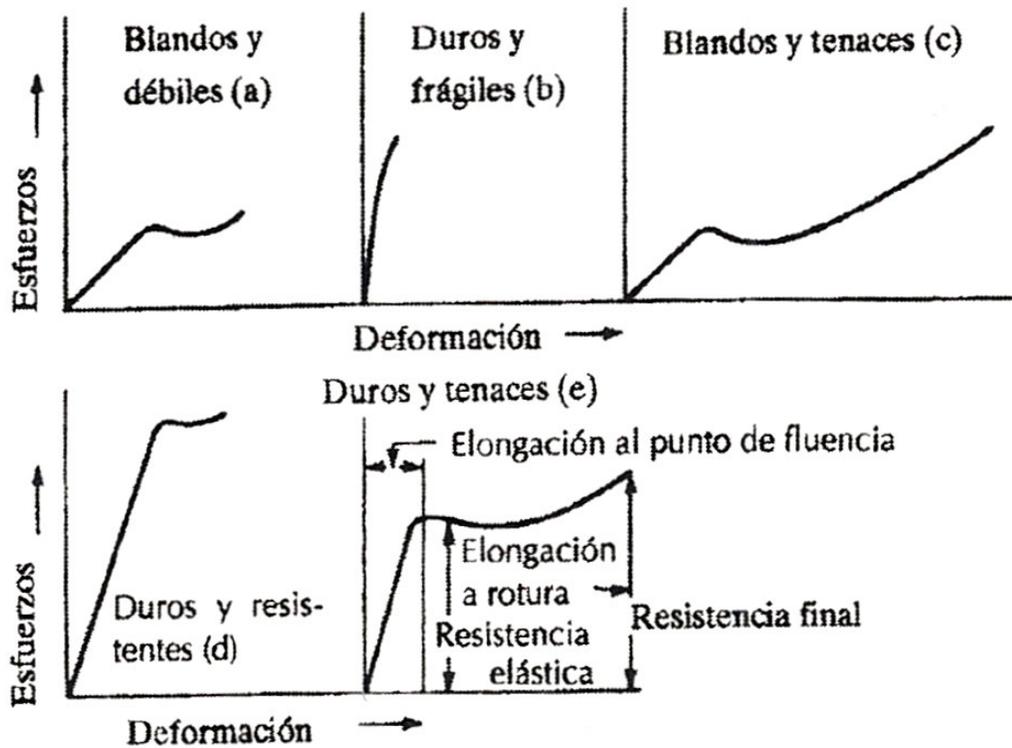


Figura II.5 Curvas de esfuerzo-deformación para varios tipos de materiales poliméricos (Billmeyer F, *Ciencia de los Polímeros*, Ed. Reverté, 1978)

La fractura se puede presentar de manera frágil o dúctil.

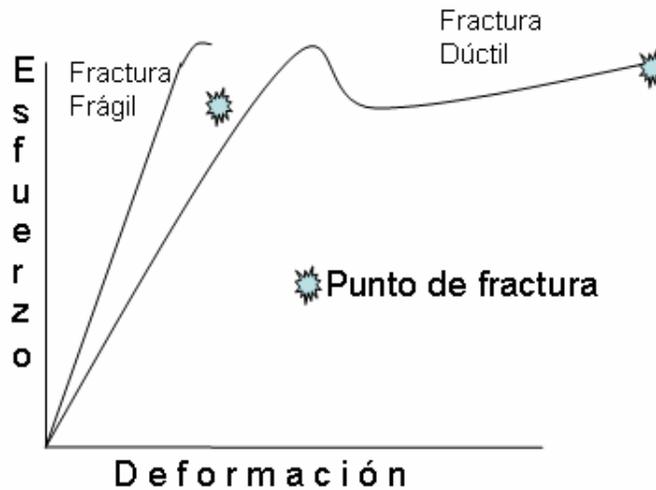


Figura II.6 Punto de fractura

Figura II.6 Curvas de esfuerzo-deformación típicas de fractura frágil y dúctil. Los materiales que soportan grandes deformaciones plásticas antes de su falla se clasifican como dúctiles.

## Esfuerzo

Las fuerzas internas de un elemento están ubicadas dentro del material por lo que se distribuyen en toda el área; justamente se denomina *esfuerzo* a la fuerza por unidad de área, la cual se denota con la letra griega sigma ( $\sigma$ ) y es un parámetro que permite comparar la resistencia de dos materiales, ya que establece una base común de referencia.

$$\sigma = P / A$$

Donde: **P** = Fuerza axial;  
**A** = Área de la sección transversal.

El esfuerzo utiliza unidades de fuerza sobre unidades de área, en el sistema internacional (SI) la fuerza es en Newton (N) y el área en ( $m^2$ ), el esfuerzo se expresa por  $N/m^2$  o pascal (Pa), particularmente los resultados de el ensayo de compresión utiliza las unidades de ( $kgf/cm^2$ ).<sup>8</sup>

## Deformación

la resistencia del material no es el único parámetro que debe utilizarse al diseñar o analizar una estructura. El análisis de las deformaciones se relaciona con los cambios en la forma de la estructura que generan las cargas aplicadas.

Así podemos definir la *deformación* ( $\xi$ ) como el cociente entre el alargamiento ( $\zeta$ ) y longitud inicial (L).

$$\xi = \zeta / L$$

Al observar esta ecuación se obtiene que la deformación sea un valor adimensional.

## Esfuerzo – deformación (Ver figuras II.4, II.5, II.6)

En el diseño de elementos estructurales implica determinar la resistencia y rigidez del material estructural, estas propiedades se pueden relacionar si se evalúa una barra sometida a una fuerza axial para la cual se registra simultáneamente la fuerza aplicada y el alargamiento producido. Estos valores permiten determinar el esfuerzo y la deformación que al graficar originan el denominado diagrama de esfuerzo y deformación.

Dado que el límite de proporcionalidad, elasticidad y punto de cedencia están tan cerca se considera para la mayoría de los casos como el mismo punto. De manera que el material al llegar la cedencia deja de tener un comportamiento elástico y la relación lineal entre el esfuerzo y la deformación deja de existir.<sup>6</sup>

### Ley de Hooke

En el diagrama de esfuerzo – deformación, la línea recta indica que la deformación es directamente proporcional al esfuerzo en el tramo elástico, este principio como la Ley de Hooke así mismo la proporción representada por la pendiente de la recta, es constante para cada material y se llama modulo de elasticidad (E), valor que representa la rigidez de un material.

$$E = \sigma / \xi$$

E = Modulo de elasticidad.

$\sigma$  = Esfuerzo (N = kg.m/seg<sup>2</sup>)

$\xi$  = Deformación( unidad a dimensional)

Finalmente, las propiedades mecánicas pueden ser modificadas mediante aditivas cargas, refuerzos o la unión con otros plásticos, así como mediante variantes en los procesos de transformación. De esta forma y mediante la aplicación de nuevas tecnologías es como se incrementan sus propiedades mecánicas como la resistencia a la tensión o al impacto.<sup>4</sup>

## TECNICAS DE CARACTERIZACIÓN ESTRUCTURAL

### Microscopia electrónica de transmisión (TEM)

Un microscopio electrónico de transmisión es un microscopio que utiliza un haz de electrones para visualizar un objeto debido a que los electrones tienen una longitud de onda mucho menor que la de la luz pueden mostrar estructuras mucho más pequeñas. Las partes principales de un microscopio electrónico son:

- **Cañón de electrones**, que emite los electrones que chocan contra el espécimen, creando una imagen aumentada.

- **Lentes magnéticas** para crear campos que dirigen y enfocan el haz de electrones, ya que las lentes convencionales utilizadas en los microscopios ópticos no funcionan con los electrones.
- **Sistema de vacío** es una parte muy importante del microscopio electrónico. Debido a que los electrones pueden ser desviados por las moléculas del aire, se debe hacer un vacío casi total en el interior de un microscopio de estas características.
- **Placa fotográfica o pantalla fluorescente** que se coloca detrás del objeto a visualizar para registrar la imagen aumentada.
- **Sistema de registro** que muestra la imagen que producen los electrones, que suele ser una computadora.

El microscopio electrónico de transmisión emite un haz de electrones dirigido hacia el objeto que se desea aumentar. Una parte de los electrones rebotan o son absorbidos por el objeto y otros lo atraviesan formando una imagen aumentada de la muestra.

Para utilizar un microscopio electrónico de transmisión debe cortarse la muestra en capas finas, no mayores de un par de miles de ángstrom. Los microscopios electrónicos de transmisión pueden aumentar un objeto hasta un millón de veces.

Para materiales **NC** con estructura desordenada no se observan picos de difracción si se utiliza la técnica de difracción de rayos X, debido a la pérdida de registro estructural de las capas o al gran espaciado ( $>10\text{nm}$ ), o a ambas; lo que es una desventaja de esta técnica, ya que las nanoestructuras desordenadas también pueden estar intercaladas o exfoliadas. Por lo tanto, la utilización de los microscopios electrónicos combinados con la difracción de rayos X será mayor ayuda para la caracterización de estos materiales.

### **Difracción de rayos X – (DRX)**

Los rayos-X son una forma de radiación electromagnética de elevada energía y pequeña longitud de onda; del orden de los espacios interatómicos de los sólidos. Cuando un haz de rayos-X incide en un material sólido, parte de este haz se dispersa en todas direcciones a causa de los electrones asociados a los átomos o iones que encuentra en el trayecto, pero el resto del haz puede dar lugar al fenómeno de

difracción de rayos-X, que tiene lugar si existe una disposición ordenada de átomos. El cual, esta descrito por la **Ley de Bragg**, y la ecuación con la que se representa es la siguiente:

$$\lambda = 2d\text{Sen}\theta$$

Donde  $\lambda$  es la longitud de onda,  $d$  es la distancia entre las capas y  $\theta$  es el ángulo de la incidencia. Si no se cumple la ley de Bragg, la interferencia es de naturaleza no constructiva y el campo del haz difractado es de muy baja intensidad.

Para materiales **NC** esta técnica ha sido utilizada ampliamente. Los picos de difracción que se observan en la región baja indican el espaciamiento  $d_{(001)}$  (espacio basal) de estructuras modificadas, estructuras ordenadas-intercaladas y ordenadas-delaminadas (exfoliadas) de materiales nanocompuestos. Un sistema se considera exfoliado cuando no hay pico atribuible al espacio basal  $d_{(001)}$  en el espectro de rayos X.

## REFERENCIA

---

<sup>1</sup> Quarmby, A., Materiales plásticos y arquitectura experimental, Ed. Gustavo Gill, Barcelona, (1976).

<sup>2</sup> Ocampo, R. E., Evolución y evaluación de nuevos materiales y sistemas constructivos, Tesis de Maestría en Arquitectura, UNAM, México, (1999).

<sup>3</sup> Meysenburg C.M. von., Tecnología de plásticos para ingenieros, España, (1973).

<sup>4</sup> Askeland, D.R., and Phulé P.P., Essential of material science and engineering, Ed. Thomson, EEUU, (2006).

<sup>5</sup> Chang R., Química, Ed. Mc Graw Hill, 6ª edición, pp 46-47, (1998)

<sup>6</sup> Quarmby, A., Materiales plásticos y arquitectura experimental, Ed. Gustavo Gill, Barcelona, (1976).

<sup>7</sup> Virgilio A., Castillo. G., Guía para la innovación tecnológica en la construcción. Universidad Católica de Chile, (1997).

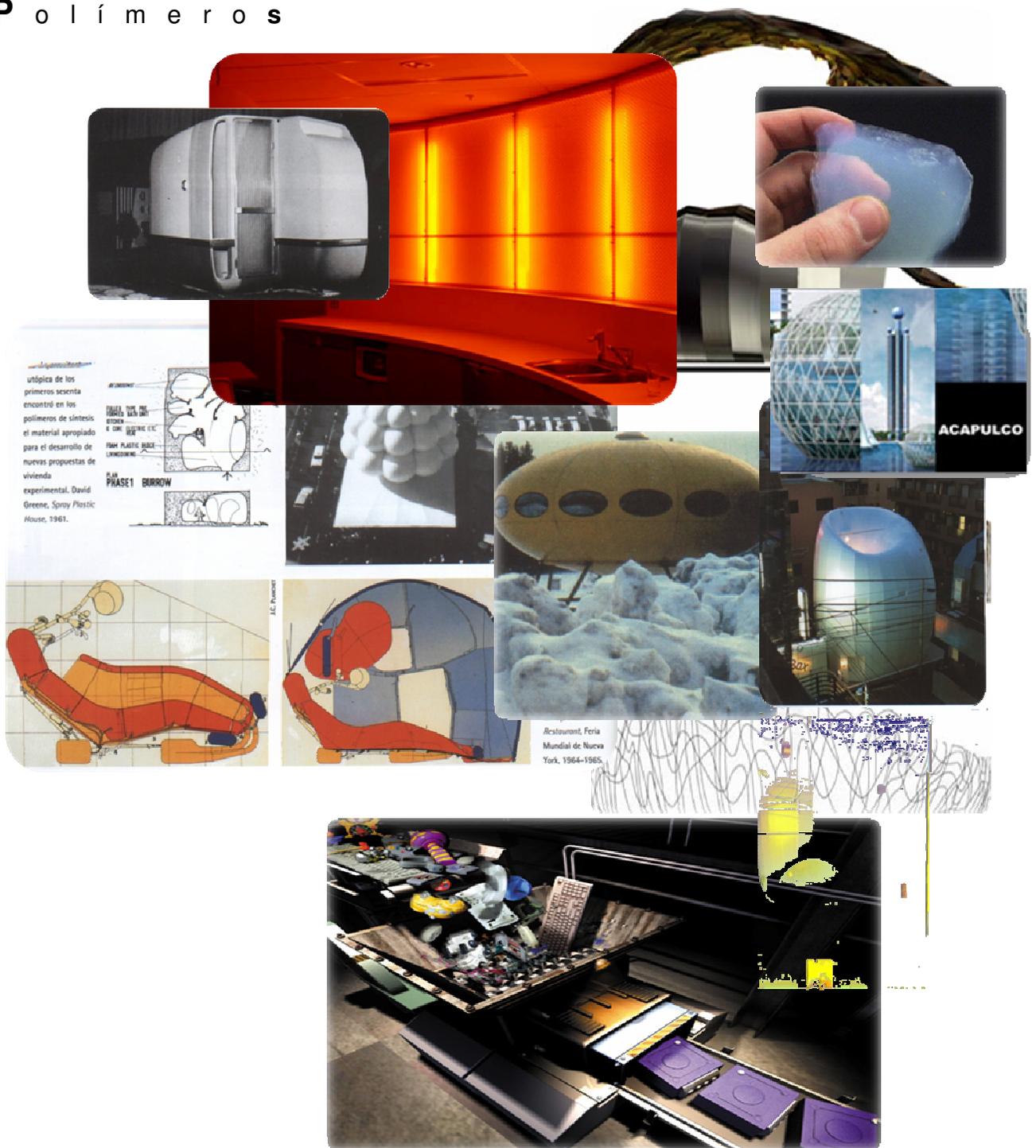
<sup>8a</sup> Beer, F .,Johnston, E. Mecánica de Materiales. Ed. McGraw-Hill, Santafé de Bogotá, Colombia, (1993).

<sup>8b</sup> Popov, E. Introducción a la mecánica de Sólidos.: Ed. Limusa, México, D.F., México,(1996)

<sup>8c</sup> Singer, F.,Pytel, A., Resistencia de materiales.: Ed. Harla, México,(1982)

<sup>8d</sup> Timoshenko S.,Youn, D. Elementos de resistencia de materiales. Ed. Limusa México D.F., México,(2000).

Polímeros



El ciclo Del Plástico, la historia sin fin.

### Generalidades

La palabra polímero se refiere a moléculas grandes de peso molecular alto constituidas por la repetición de pequeñas unidades químicas de peso molecular bajo, en algunos casos la repetición es lineal de forma semejante a una cadena y en otros las cadenas son ramificadas o interconectadas formando redes tridimensionales. Un polímero posee moléculas individuales de distinto tamaño, con la misma composición química y la estructura molecular<sup>1</sup>

El estudio de las propiedades de los polímeros creció gradualmente. En general, los polímeros tienen buena resistencia mecánica debido a que las grandes cadenas poliméricas se refuerzan sinérgicamente, se alinean en dirección del esfuerzo, se entrelazan (enredan) y se atraen ligeramente. Las fuerzas de atracción intermoleculares dependen de la composición química del monómero y pueden ser de Van der Waals o polares. Las fuerzas que se encuentran en la naturaleza se clasifican principalmente en: a) fuerzas primarias; interacciones mayores a 50 (KJ/mol), y son las que se describen como las uniones o enlaces iónicas, covalentes y metálicas; y b) fuerzas secundarias (interacciones inferiores a 10 (KJ/mol). Son fuerzas intermoleculares principalmente, pero también pueden atraerse distintas partes de una molécula. (es decir, intramoleculares).<sup>2</sup>

Las fuerzas intermoleculares determinan el estado de agregación del sistema bajo condiciones dadas de presión y temperatura, así como las propiedades físicas tales como:

- Volatilidad (magnitud de presión de vapor), Viscosidad, Tensión superficial, Miscibilidad, Solubilidad, Cristalización.

Dentro de las fuerzas intermoleculares, se encuentran las fuerzas de **Van der Waals**, presentes en las moléculas de muy baja polaridad, generalmente hidrocarburos. Son fuerzas que provienen de dipolos transitorios, por lo que en cierto instante una porción de la molécula se mueve ligeramente negativa, mientras que en otra región aparece una carga positiva equivalente, formando dipolos no – permanentes. Estos dipolos producen atracciones electroestáticas muy débiles en las moléculas de tamaño normal, pero en los polímeros, formados por miles de estas moléculas, las fuerzas de atracción se multiplican y llegan a ser enormes.<sup>3</sup>

**TIPOS DE POLIMERIZACION**

En general se pueden definir 2 tipos de reacciones de polimerización:

- Condensación
- Adición.

Un polímero de **adición** tiene los mismos átomos en el monómero y en la unidad de repetición. Los átomos del esqueleto del polímero orgánico son normalmente átomos de carbono, pero también pueden ser otros elementos no metálicos. (Si, O).

Los polímeros de **condensación** contienen menos átomos en la unidad de repetición del polímero que en los reactivos, ello es debido a la formación de productos secundarios durante el proceso de polimerización y el esqueleto del polímero contiene normalmente átomos de más de una clase de elementos.

La mayoría de los plásticos de algunas fibras son polímeros de adición y se fabrican por polimerización de radicales libres, siendo éste el método de obtención comercial. Se utilizan iniciadores químicos, fotoquímicos y térmicos para la formación del primer radical libre. La iniciación de una cadena de radicales libres se produce por adición de un radical libre a un grupo vinilo.

Cuando el monómero es polimerizado la densidad aumenta. Este cambio de densidad causa una contracción volumétrica o encogimiento. El encogimiento de monómeros de bajo peso molecular es mayor comparado con los de alto peso molecular.

**CLASIFICACIÓN DE POLIMEROS**

Los polímeros se pueden clasificar de varias formas: primero, según la manera en que las moléculas son sintetizadas (adición, condensación), en función de su estructura molecular (lineales, en bloques, etc.). Sin embargo, el método más usado para describir los polímeros es en función de su comportamiento térmico. La siguiente tabla muestra las tres clases de polímeros, según su clasificación térmica junto con una descripción de su estructura<sup>4</sup>

COMPORTAMIENTO	ESTRUCTURA GENERAL
Termoplástico	Cadenas lineales flexibles
Termoestable	Red rígida tridimensional
Elastómero	Cadenas lineales flexibles con enlaces cruzados

Tabla III.1 Clasificación de polímeros por sus propiedades térmicas

### Termoplásticos

Este tipo de polímeros no presentan entrecruzamiento químico entre sus moléculas. Debido a lo anterior, al calentar el polímero tiende a reblandecerse y a fluir como un líquido viscoso. De esta manera la mayoría de los materiales TERMOPLASTICOS pueden moldearse varias veces, aunque la degradación térmica y mecánica limita el número de ciclos de moldeo. Cuando más largas sean las cadenas, más alto será el grado de entrelazamiento físico y el material tendrá mayor rigidez.

Existe una temperatura definida a la que las cadenas adquieren suficiente energía para comenzar a moverse unas con respecto a otras. Esta temperatura es la temperatura de transición del estado vitrio al fluido, conocida con las siglas **Tg**, por su nombre en inglés "*glassy Temperature*". Los polímeros termoplásticos son rígidos por debajo de la Tg y deformables por encima de esta temperatura. Es importante tener presente que si la aplicación del polímero exige que posea rigidez a temperatura (por ejemplo, si va a utilizarse para construir tuberías o envases) debe cumplirse que Tg sea mayor que T ambiente.

### Elastómeros

En los elastómeros, también conocidos como hules, las distintas cadenas que forman el polímero están entrelazadas en un bajo porcentaje a otras por enlaces químicos y no sólo por interacciones Van der Waals, como en el caso de los termoplásticos.

Esta estructura peculiar es la que proporciona elasticidad al material. Las cadenas pueden ser deformadas ante un esfuerzo extremo pero tenderán a volver a su estado inicial. En los polímeros termoplásticos, al no existir estas uniones entre cadenas por encima de Tg, una vez deformados no regresan a su estado inicial.

### **Termoestables o termo fijos**

Este tipo de polímeros es un caso extremo de los elastómeros. El grado de entrecruzamiento es tan alto que la estructura permanece rígida. Es decir, son materiales que una vez calentados reaccionan irreversiblemente, de manera que las aplicaciones subsecuentes de calor y de presión no provocan que se ablanden y fluyan. En estos tipos de polímeros carece de sentido hablar de una Tg. Las cadenas solo tendrán movimiento cuando los enlaces químicos se rompan, lo cual quiere decir que habrá que destruir el polímero para hacer que éste fluya.<sup>3</sup>

### **POLIMEROS EN LA CONSTRUCCIÓN**

El progreso del uso de los polímeros en la construcción es, a la vez, importante y reciente (Chemilier, 1980). Esto se debe principalmente al desarrollo de la tecnología de los materiales que se ha generado en los últimos 60-70 años y al hecho de que se puede desarrollar un tipo de polímero para cada aplicación.

En la actualidad, tanto el diseñador como el constructor pueden escoger entre una amplia gama de características (textura, resistencia, duración, etc.). para utilizar polímeros en la construcción. La literatura técnica clasifica los polímeros para las edificaciones como: materiales auxiliares, materiales no estructurales, materiales semi estructurales y materiales estructurales.

Los materiales auxiliares incluyen los adhesivos, materiales de sello, empaquetadoras de todo tipo, así como capas protectoras y decorativas. Los polímeros no estructurales incluyen las cubiertas y recubrimientos de pisos y paredes, laminados decorativos, aislantes térmicos, elementos de plomería, vidriado, así como equipo de iluminación.

Para las aplicaciones de polímeros semi-estructurales y estructurales, en donde la resistencia mecánica y la rigidez cobran mayor importancia, se requiere utilizar materiales más complejos, como: polímeros compuestos, en los que se refuerza el polímero original con fibras y los hormigones modificados con polímeros. Adicionalmente, en el uso de polímeros en la construcción de obras civiles e industriales ha crecido consideradamente<sup>5</sup>. Tal es el caso de los geotextiles y de las GEO-membranas, o de las tuberías de HDPE por sus siglas en inglés (High Density Poly Ethylenes).<sup>6</sup>

Los plásticos presentan una serie de ventajas, como peso reducido, facilidad de moldeo, etc. Es por ello que en países como en Estados Unidos, y sobre todo, en los países europeos los materiales plásticos se utilizan en una serie de diversas aplicaciones<sup>3</sup>

USO	ELEMENTO	TIPO DE POLÍMERO	RECOMENDACIONES
Pavimentos	Baldosa/Rollo	PVC	Se raya con facilidad Se debe limpiar con agua jabonosa
	Carpintería		debe estar reforzada con una estructura metálica interna
	Persiana		Debe controlarse su acomodo estructural antes de su corte
Ventanas	Acristalamiento	PMMA	Se raya con facilidad Amarillea con el tiempo
		PC	Es más resistente que el PMMA
	Burlete	ELASTOMEROS CELULOSICOS	Debe controlarse su acomodo estructural antes de su corte
Accesorios	PVC		
	ACETALES		
	ABS		
Perfiles	PVC	debe estar reforzada con una estructura metálica interna	
Puertas	Revestimiento	PVC	Se raya con más facilidad que la MF Es más calido al tacto que la MF
		MF	Es más resistente que el PVC
		PC	Es mas resistente PMMA
Claraboyas	Láminas	PMMA	Se raya con facilidad Amarillea con el tiempo
		ETFE	En colchones neumáticos de gran tamaño o tensados de tamaño menores
Aislantes Térmicos	Espuma	PS	Expandido o Extruido Poro cerrado
		UP	Poro Abierto Problemas de Polimerización in situ Inflamabilidad
	Distribución	PE	Poca Resistencia a los U.V.
PP		El PP es mas resistente que el PE	
Fontanería	Aparatos Sanitarios	COPOLIMEROS PVC	Los compolímeros son mas resistentes que el PVC
	Elementos Auxiliares	PP	
		P/REFORZADO	
		PE	
ABS			

USO	ELEMENTO	TIPO DE POLÍMERO	RECOMENDACIONES
Electricidad	Pantalla de Luminarias	PMMA	Se raya con facilidad Amarillea con el tiempo
		PC	Es mas resistente PMMA
	Interruptores	PVC	El PVC es mas resistente que el PE
	Aislamiento	PE	
	Tubos de Protección	PVC	
Juntas de Dilatación	Preformado	PVC	Sellador con Adhesión
		ELASTOMEROS	Relleno de Juntas
Impermeabilizantes	Lámina	PVC PLASTIFICADO	Emigración de los plastificantes con el tiempo, convirtiéndose en PVC rígido
	Barrera Vapor	PE	Peligro de rotura por punzonamiento
Adhesivos	Según usos	TERMOPLASTICO	Adhiere con más facilidad
		TERMOESTABLE	Resiste a altas Temperaturas
	Son mejores los adhesivos de varios componentes	ELASTOMEROS	Absorbe dilataciones diferenciales
Pinturas	Según usos	TERMOPLASTICO	Adhiere con más facilidad
		TERMOESTABLE	Resiste a altas Temperaturas
		ELASTOMEROS	Absorbe dilataciones diferenciales
Cubiertas Téxtiles	Láminas	ETFE	Uso general en cubiertas de cojines neumaticos. Permite el paso de los rayos U.V.A. y es antiadherente y transparente
	Membranas	PES-PVC	Son materiales compuestos que suman la elevada resistencia del tejido interior y las prestaciones de cada recubrimiento
		FV-PTFE	
		ARAMIDAS	
FV-SILICONAS			

PES-PVC Tejido de Poliéster y recubrimiento de Poli cloruro de vinilo

FV-ETFE Recubrimiento de teflón sobre fibra de vidrio

Aramidias (Kevlar)

FV-Silicona Recubrimiento de Silicona sobre fibra de vidrio

Figura III.1 Aplicación de los polímeros en la construcción<sup>3</sup>

**NOMENCLATURA**

- PVC Policloruro de vinilo
- PMMA Poli metil metacrilato
- PES Poliester
- PE Polietileno
- PC Policarbonato
- PTFE Politetrafloro etileno
- FV Fibra de vidrio
- PP Polipropileno
- PB Poli isobutileno

POLIMEROS EN ARQUITECTURA



Figura III.2 Polímeros en Arquitectura<sup>3</sup>**Compuestos poliméricos<sup>3</sup>**

Los polímeros compuestos son análogos al hormigón reforzado, o mejor aún, al hormigón reforzado con fibras. Las características principales de este tipo de materiales son: alta energía de fractura, facilidad de fabricación y potencial de bajos costos de producción. Una de las ventajas de los compuestos poliméricos es que no requieren de terminaciones especiales y generalmente requieren muy poco mantenimiento durante su vida útil. La utilización de estos compuestos acelera los procesos constructivos, tanto en los productos de vaciado in situ, como en los productos prefabricados. Probablemente, el punto más importante de los compuestos poliméricos es que son livianos y que requieren poca mano de obra para ser instalados.

Dentro de las aplicaciones de este tipo de materiales, se encuentran los productos estándares: hojas planas y corrugadas, paneles sándwich. y paneles para que trabajen como colectores solares, para fachadas de edificios como elementos estructurales y paneles opacos estructurales. Generalmente, en estos casos el material compuesto forma parte de la membrana exterior, como en el caso de los paneles sándwich. Estos paneles son muy livianos, y por tanto, fáciles de instalar con herramientas simples, a muy bajo costo.

Los plásticos también tienen aplicación en la construcción prefabricada de baños y/o sus componentes, (como tinajas y duchas), cisternas, tanques de agua y marcos de ventanas. En estos casos, las paredes colindantes con las estructuras de plástico son moldeadas como un sólo elemento, de modo de evitar uniones y grietas. Además estas estructuras se pueden aplicar en tuberías y ductos.

La Figura III.3 muestra los porcentajes de la aplicación de los plásticos correspondientes a cada una de las áreas. Claramente, se puede observar que los mayores de estos porcentajes corresponden al sector de la construcción, al empaque y embalaje<sup>7</sup>.

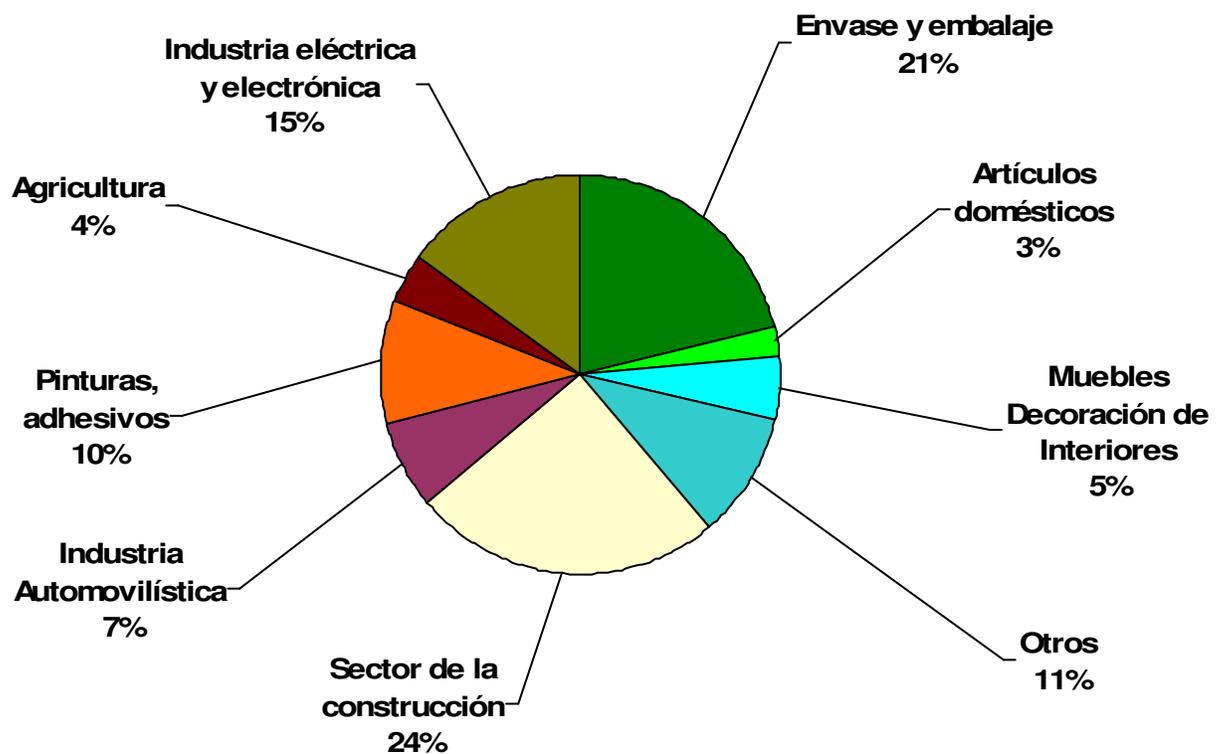


Figura III.3 % de aplicación de plásticos en diferentes sectores

**ESPUMA RIGIDA DE POLIURETANO**

Las espumas rígidas de poliuretano, también conocidos como polímeros celulares, plásticos celulares o polímeros expandidos, son materiales de más de una fase, consistentes en una matriz de polímero y una fase fluida, la que generalmente es un gas. Desde el punto de vista morfológico, se pueden presentar espumas con células abiertas y con células cerradas. Ciertamente, se puede obtener una situación intermedia entre ambos casos. Las espumas de poliuretano se pueden clasificar en rígidas y flexibles.<sup>8</sup>

Todos los tipos de espuma de poliuretano se preparan utilizando cantidades diferentes de sus dos componentes principales. En cada reacción el producto varía de acuerdo a la relación *estructura – peso – funcionalidad*.<sup>9</sup>

El comportamiento mecánico de estas espumas dependerá, en gran medida, de la fracción de células cerradas que presente la espuma. Es así que, dependiendo de la rigidez de las mismas, se pueden definir las espumas como rígidas y flexibles. De acuerdo a esta clasificación, la mayoría de las espumas de polietileno, fenólicas, poli carbonatos y algunos poliuretanos, son rígidos. En la figura III.4 se muestran las propiedades de una espuma rígida de poliuretano. En cambio, las espumas de goma, los poliuretanos elastoméricos y los PVC plastificados son flexibles. Las espumas rígidas se pueden subdividir en: espumas que no toman cargas y espumas que toman cargas.

**PROPIEDADES DE LA ESPUMA DE POLIURETANO**

a) Puede ser espumado en lugar, ligero, aplicación monolítica.
b) Es ligero de peso; su densidad varía de 24kg/m <sup>3</sup> hasta 40 kg/m <sup>3</sup>
c) Su conductividad térmica es muy baja comparada con las de otros materiales aislantes disponibles.
d) Se puede utilizar en un amplio rango de temperaturas que va desde 196° C, hasta 107° C.
e) Puede llegar a hacerse resistente a la flama.
f) Presenta baja permeabilidad a la humedad.
g) Es resistente a la mayoría de los solventes y presenta excelentes propiedades mecánicas.
h) No atrae roedores o insectos y no se pudre.
i) Se surte en placas y en preformados.

j) Impermeabiliza
k) Aísla térmicamente
l) Excelente adhesión

Tabala III.2 Propiedades de la espuma de poliuretano<sup>8</sup>

### GENERALIDADES SOBRE LAS PROPIEDADES DE LA ESPUMA RÍGIDA DE POLIURETANO<sup>7</sup>

#### 1) Conductividad térmica

El factor de conductividad térmica de la espuma rígida de poliuretano expuesta al aire y a la humedad cambiará con el tiempo. El grado de afectación de la conductividad térmica estará determinado por el medio ambiente en el cual se exponga la espuma y por el tiempo de exposición. La baja conductividad térmica de la espuma rígida de poliuretano, se debe al aire contenido en las burbujas que es mal conductor térmico y al uso de ciertos espumantes y a la formación de unas estructuras de celdas cerradas que atrapan y contienen el valor del agente espumante de baja conductividad. Las paredes de las celdas son casi impermeables al agente espumante, de tal manera que el valor no se escapa mientras que las paredes de las celdas son ligeramente permeables tanto al aire como al vapor de agua. Esta difusión interna de estos gases diluye el espumante, provocando un cambio en el factor de conductividad térmica con el tiempo.

#### 2) Barreras de vapor

En la actualidad todos los productos aislantes en el mercado requieren de una barrera de vapor para las instalaciones frías, ya que si se prescindiera del uso de esta barrera, el vapor de agua se condensaría y congelaría en la superficie fría, reduciendo seriamente las características aislantes de la espuma. Estas barreras trabajan impidiendo que el aire y el vapor de agua se difundan dentro de las celdas de la espuma, aunado a que el cambio del volumen específico provoque esfuerzos internos serios agrietando el material.

### 3) Densidad

Las espumas rígidas de poliuretano son fabricadas dentro de un intervalo de densidades que va desde  $24\text{kg/m}^3$ , hasta  $40\text{kg/m}^3$ . Los de  $40\text{kg/m}^3$  son considerablemente más fuertes y más estables que los de menor densidad, pero debido al alto costo que implica el producir estas espumas de alta densidad, su uso no es muy alto.

En general, la densidad de las espumas rígidas de poliuretano puede ser cambiada o modificada simplemente cambiando la cantidad del agente espumante que interviene en su preparación. En ocasiones, es necesario también realizar pequeños cambios en la concentración del catalizador.

### 4) Temperaturas de operación

Las espumas rígidas de poliuretano con una densidad de  $24\text{kg/m}^3$  o mayor, generalmente dan servicio adecuado en un intervalo de temperaturas que va desde  $-196^\circ\text{C}$  hasta  $170^\circ\text{C}$ . Las espumas con densidades menores pueden presentar una estabilidad dimensional muy pobre a temperaturas menores de  $4^\circ\text{C}$  o mayores de  $77^\circ\text{C}$  (en este caso se deforman).

La resistencia mecánica de la espuma rígida de poliuretano no decrece mucho si se trabaja entre la temperatura ambiente y  $93^\circ\text{C}$ , sin embargo si se trabaja entre  $93^\circ\text{C}$  y  $121^\circ\text{C}$  se presenta un ligero decremento en las propiedades mecánicas y en su estabilidad dimensional. Por estas razones, generalmente es recomendable utilizar como límite superior o máximo de temperatura de  $99^\circ\text{C}$  a  $107^\circ\text{C}$  para un servicio continuo y para un servicio intermitente por cortos periodos de tiempo, una temperatura hasta de  $121^\circ\text{C}$ .

En el otro extremo de la escala de temperaturas, la espuma rígida de poliuretano mantiene satisfactoriamente su resistencia hasta temperaturas tan bajas como  $-196^\circ\text{C}$ . La resistencia a la tensión y a la elongación decrecen ligeramente, pero la resistencia a la compresión se incrementa conforme la temperatura disminuye, es decir, la espuma rígida de poliuretano se vuelve más resistente a bajas temperaturas.

**5) Olor**

La espuma de poliuretano carece de olor una vez que ha pasado el tiempo de curado. Durante la reacción de espumado los olores del diisocianato (materia prima) y de los catalizadores amínicos se encuentran presentes. En el curado, a temperatura ambiente o a elevadas temperaturas, el olor disminuye rápidamente. Una selección adecuada de catalizadores, (bien sea que reaccionen con el diisocianato o tengan muy baja volatilidad), también pueden ayudar a disminuir el olor de la amina.

**6) Resistencia a microorganismos y roedores**

La espuma rígida de poliuretano parece no ser muy atractiva para ser consumida por los roedores, como lo son los materiales de aislamiento convencionales. Numerosas pruebas han demostrado que las ratas pueden llegar a mordisquear la espuma de poliuretano, pero nunca se podrán alimentar de ella, aún estando sujetas a condiciones de inanición. Se ha comprobado a través de las autopsias practicadas sobre los animales que llegaron a mordisquear la espuma que los roedores nunca pudieron asimilar la espuma.

Así mismo, pruebas de laboratorio indicaron que los hongos no obtienen elementos nutritivos de la espuma rígida de poliuretano. Sin embargo se determinó también que la espuma no es tóxica a los hongos, por consiguiente, no solo la espuma no soporta el crecimiento y desarrollo de los hongos, sino que tampoco eliminará hongos activos transferidos de otro medio.

**7) Tiempo de vida de servicio**

La experiencia que se ha tenido con las espumas rígidas de poliuretano utilizadas como aislante térmico a través de los años ha sido altamente satisfactoria. En todos los casos se ha utilizado una barrera de vapor cuyo uso ha llegado a ser esencial para dar una larga vida de servicio a la espuma rígida de poliuretano.

**8) Alto rendimiento<sup>10</sup>**

El sistema de proyección en continuo y adherido no precisa de una preparación previa especial del soporte, ni de adhesivos o fijaciones mecánicas, por lo que se pueden

conseguir la instalación de una cantidad de 2000m<sup>2</sup> por jornada a 1", difícil de alcanzar con otros materiales.

### 9) Ecológico<sup>9</sup>

Del reciclado de determinados envases de plásticos (PET) se puede obtener uno de los componentes base en la formulación de la espuma rígida de poliuretano.

La utilización de la espuma rígida de poliuretano como aislante térmico, dadas sus excelentes propiedades, reduce la emisión a la atmósfera de grandes cantidades de gases de efecto invernadero como el CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono) y otros debido a:

- Produce un mejor aprovechamiento energético en la climatización de todo tipo de edificios e instalaciones y por lo tanto hay una reducción del consumo de energía de centrales térmicas y calefacciones, ya sean de combustible, carbón o gas.
- En igualdad de espesores respecto a otros materiales aislantes, proporciona mejor aislamiento térmico, reduciendo energía tanto en la producción de materias primas como del transporte.
- Hay una disminución muy sensible en el combustible en el transporte con respecto a los materiales aislantes ya expandidos, que aunque de poco peso, ocupa mucho volumen.

### 10) Propiedades físicas, químicas, mecánicas

En la siguiente Figura se comparan las propiedades de varios materiales

PROPIEDADES	FIBRA DE VIDRIO	ESPUMA DE POLIESTIRENO NORMAL	ESPUMA DE POLIESTIRENO DE ALTA DENSIDAD	CORCHO	ESPUMA RIGIDA DE POLIURETANO
RESISTENCIA A LOS					
DENSIDAD (kg/cm <sup>3</sup> )	1600/196	17	25	256	24 a 40
CONDUCTIVIDAD	0.030	0.031	0.027	0.035	0.014 a 0.025
RESISTENCIA A LA (Kcal/hm <sup>2</sup> C)	—	0.7	1.2	—	1.8 a 4.2
COMPRESIÓN (kg/cm <sup>2</sup> )	—	—	—	—	—
PERMEABILIDAD (perm)	ALTA	1.4	0.59	ALTA	1.5 a 3.0
TEMPERATURA					
MINIMA DE OPERACIÓN (°C)	-196	-150	-196	-196	-196
RESISTENCIA A LA FLAMA	NO ARDE	AUTO – EXTINGUIBLE	AUTO – EXTINGUIBLE	AUTO – EXTINGUIBLE	AUTO – EXTINGUIBLE

Tabla III.3 Propiedades físicas, químicas, mecánicas de diferentes materiales<sup>4</sup>

### **DESCRIPCION DE FORMACIÓN DE ESPUMA DE PU**

La espuma rígida de poliuretano es una mezcla de Polioles con di- o poli-isocianatos que al combinarse entre sí, con aire a presión, dará por resultado un compuesto de poliuretano para ser aplicado por aspersión. Dicha mezcla, se prepara en el lugar de aplicación. Al colocarse sobre la superficie a recubrir, aún no esta rígida, cuando el aire es el catalizador, cuando la mezcla entra en contacto con el oxígeno de la intemperie, el material se expande formando la espuma. La colocación del material requiere de equipo y mano de obra especializada.<sup>8</sup>

### **APLICACIONES COMERCIALES**

La espuma rígida de poliuretano se utiliza, en la actualidad, en una amplia variedad de aplicaciones, algunas de éstas se deben a las ventajas que presentan las espumas de poseer excelentes propiedades como aislantes térmicos, mientras que otras a su gran resistencia y versatilidad de aplicación.

La espuma rígida de poliuretano aplicada por aspersión, es la forma más eficaz de aislar térmicamente y sellar de manera simultánea prácticamente cualquier tipo de substrato, ya que se obtiene una capa monolítica sin juntas, ni puentes térmicos, adherida por si misma de manera hermética. Se aplica sobre cualquier tipo de superficie que esté libre de grasa, polvo y seca.<sup>8</sup>

La espuma rígida de poliuretano se usa en equipos de aire acondicionado, refrigeradores, en muebles y decoración de interiores, como arreglos florales, puertas, figuras, paneles, entre otros. También se observa su aplicación en reestructuración de obras de arte<sup>10</sup>

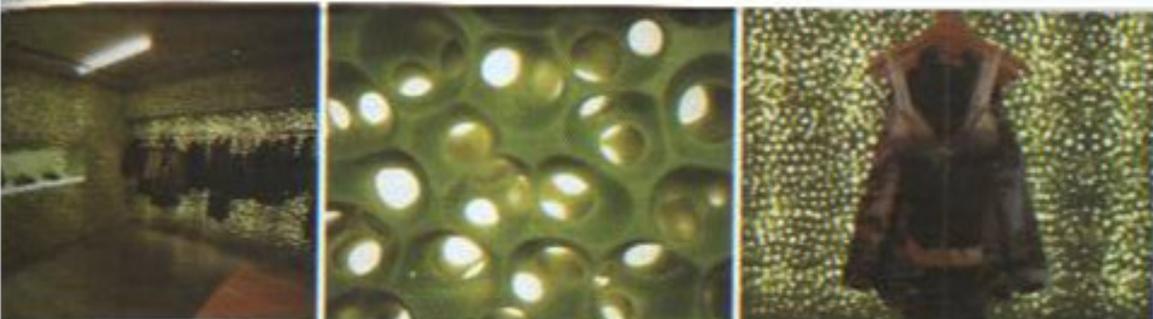
APLICACIONES DE ESPUMA DE POLIURETANO		
		
<p>Techos residenciales</p>	<p>Techos industriales</p>	
		
<p>Recubrimiento en muros</p>	<p>Contra incendio en estructuras metálicas</p>	
		
<p>Decoración Interiores</p>		

Figura III.4 Aplicaciones de la espuma de poliuretano<sup>11</sup>

En el área de construcción se usa como aislante térmico y envolvente de casa y edificios, con el objetivo de protegerlos del medio ambiente y garantizar un suministro sustentable de energía.

Lo más sencillo y económico para conservar el calor es agregar el aislamiento térmico principalmente en el techo, muros y ventanas. Diferentes zonas climáticas del país requieren diferentes niveles de aislamiento, (esto es: diferentes coeficientes de conductividad térmica (R)).<sup>10</sup>

Figura III.5 Aislamiento de espuma de poliuretano<sup>10</sup>

En una bodega, el gradiente de temperatura medido desde el techo hasta el piso indica que en las partes altas se registra la mayor temperatura, el aire caliente se propagará a zonas de aire frío haciéndose un ciclo de aire frío ascendente tendiente a calentar todo el aire confinado. Lo que quiere decir que los techos de lámina y concreto cumplen no solo con una función estructural si no que en combinación con la espuma rígida de poliuretano forman un escudo que reduce 2180 veces la velocidad con que se transmite la energía del calorífica del sol al interior de la nave.

La función de la espuma rígida de poliuretano se entiende, por consiguiente por la barrera física que impide virtualmente, (con el espesor de 2 pulgadas como mínimo), el paso de la energía del sol. De igual forma cuando afuera hace frío y adentro calor ésta evita la pérdida de calor desde adentro hacia el exterior.

Una vez que se frena el calentamiento por el sol hacia el interior la ventilación pasa a ser el siguiente factor importante, porque la espuma no enfría, su función es evitar el transporte de energía calorífica a través de ella. La disminución de la temperatura más allá de la estabilización dependerá de la inyección de aire frío, ya sea aire corriente y/o acondicionado. La barrera de espuma servirá para que el aire frío inyectado no se pierda ni se caliente por el calor absorbido por el techo.<sup>6</sup>

### CONSIDERACIONES DE DESEMPEÑO EN AISLAMIENTO

Todos los materiales utilizados en la construcción y que son expuestos al calor del sol conducen en alguna extensión el calor. El factor con el cuál se mide la velocidad con que un material permite la conducción, al calor es conocido como factor (k). En la siguiente tabla se presentan los valores para los materiales de construcción más comunes:

Material	Factor (k) (W/m * °K)	Peso específico (Kg/m <sup>3</sup> )
Acero	56.70	7854
Asbesto	0.58	1920
Yeso	0.17	800
Madera	0.16	720
Concreto	1.40	2300

Ladrillo	0.72	1920
Block de concreto	1.10	16 x pieza 20 x 40 x 20
Vidrio	1.40	2500
Fibra de vidrio	0.046	105
Poliestireno	0.027	55
Espuma rígida de Poliuretano	0.026	70

Tabla III.4 Factor de conductividad térmica (k) de diferentes materiales de construcción<sup>11</sup>

### QUIMICA BASICA DE LAS ESPUMAS

En la actualidad, el proceso de formación de espumas de poliuretano se ha simplificado para su uso comercial, para el caso de las espumas rígidas primeramente se combina un polioliol y un di-isocianato para formar un prepolimero que posteriormente se polimeriza por medio de un catalizador. Un agente espumante y un agente surfactante, se adicionan para darle la textura deseada.

Cuando se lleva a cabo la unión de reactivos la reacción de polimerización comienza inmediatamente, y se libera una considerable cantidad de. La energía liberada por la reacción vaporiza al agente espumante y éste provoca que la masa se vuelva viscosa y se forme la espuma en aproximadamente 2 minutos. La espuma alcanza a formarse en el tiempo necesario antes de que se complete la polimerización y pueda permanecer estable.

### POLI-ISOCIANATOS

Los poli-isocianatos constituyen la espina dorsal de la química de los poliuretanos, de ahí la importancia de su estudio. Los principales Isocianatos se preparan mediante la reacción de las correspondientes aminas primarias con fosgeno en un disolvente inerte.

Los más usados comercialmente son los di-isocianatos aromáticos derivados del benceno. En la figura se muestran las reacciones de obtención de los isocianatos, polioliol y poliuretano.

## REACCIONES DE OBTENCIÓN

## ISOCIANATO

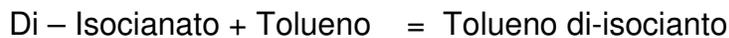
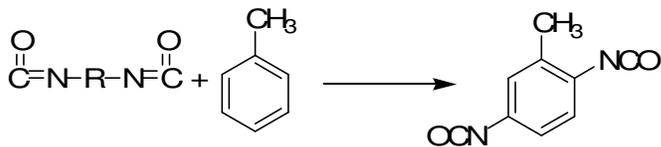
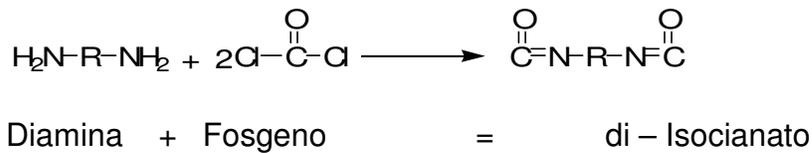
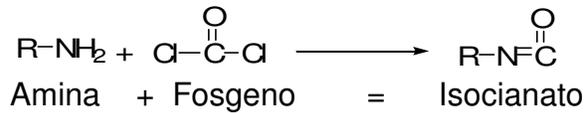


Tabla III.5 Reacción de obtención de los Isocianatos<sup>9</sup>

AGENTES AUXILIARES<sup>8</sup>

La producción de espuma rígida de poliuretano, la reacción de di-isocianatos con compuestos polihidroxilados requiere, el empleo de ciertos agentes químicos auxiliares, siendo los principales los siguientes:

1. Catalizador
2. Agente espumante
3. Agente surfactante
4. Agente reticulador

*Catalizadores*

Para producir espumas rígidas de poliuretano, se ha determinado que las aminas terciarias resultan catalizadores altamente satisfactorios, ya que además de catalizar la

reacción para producir espumas, impide la formación “biuret” o de ureas que son reacciones no deseadas en este caso.

#### *Agente espumante*

A mediados de 1958 se introdujeron los hidrocarburos como agentes espumantes en la preparación de espumas de poliuretano, con esto, se produjo un importante avance en el empleo de las espumas rígidas de poliuretano.

Uno que es muy usado es el CFC141-b (Clorofluorcarbono – 141-b) por sus excelentes propiedades como: no combustible, buena compatibilidad con el uretano y sus ingredientes. Es considerado el menos agresivo para el medio ambiente.

#### *Agente espumante de 3<sup>o</sup> generación.*

Otros agentes espumantes son:

- C5 – Hidrocarburos de 5 carbonos
- Halógenos – libre de azotropos.
- Dióxido de carbón líquido.
- Agua.

#### *Agente tensoactivo*

Es importante hacer notar que en una espuma que está creciendo es esencial que el gas sea retenido completamente en la forma de burbujas, ya que éstas son las que van a determinar la estructura de celdas cerradas de la espuma. si no se usan tensoactivos, la pérdida del gas durante el crecimiento de la espuma, conduce a una expansión incompleta y a una espuma de muy alta densidad, la pronta desaparición de las burbujas provoca una serie de irregularidades en la consistencia final de la espuma. Por otro lado, una estructura áspera, asociada con gran tamaño de las celdas, afecta considerablemente la baja conductividad térmica que debe tener la espuma.

Por lo anterior, es necesario adicionar un agente tensoactivo (también llamado agente surfactante (del inglés surfactant) o agente controlador de celda), cuya función es de facilitar mejor la producción uniforme de pequeñas burbujas. Con ello se consigue una

espuma rígida de fina textura y buen valor de aislante térmico. Los agentes tensoactivos más utilizados para la fabricación de espumas rígidas de poliuretano son silicones.

### *Agentes reticuladores*

Los agentes reticuladores son polioles de bajo peso molecular que frecuentemente son introducidos con el fin de incrementar la densidad de enlaces transversales de las espumas basadas en poliéter de baja funcionalidad como son los trioles. La adición de estos agentes implica una mayor estabilidad dimensional a la espuma, así como una mayor rigidez. Entre los agentes reticuladores más usados se tienen: el glicerol, la trietanolamina, el pentaeritritol.

---

## REACCIONES DE OBTENCIÓN

### POLIOL

---

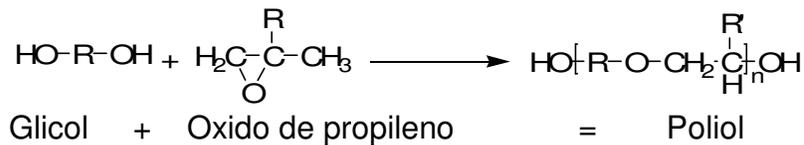


Tabla III.5 Reacción de obtención del Polioli<sup>9</sup>

## PROCESO DE ESPUMADO<sup>7</sup>

Se consideran 2 tipos de espumados, dependiendo de la forma en que es producida la espuma:

- a) Vaciado en el lugar
- b) Aspersion (Spray-up)

### a) VACIADO EN EL LUGAR

En este proceso, los componentes ya mezclados, pero aún en forma líquida, son vaciados en el sitio donde van a espumar, puede ser un molde si se trata moldear una cavidad cualquiera.

b) ASPERSIÓN (SPRAY-UP)

La espuma rígida de poliuretano es producida mediante la reacción estequiométrica de 2 componentes:

- 1) Componente B: Toluen di-isocianato
- 2) Componente A: Resina poliólica (Polieter Polioli + Catalizador + Agente espumante + Agente surfactante + Retardante de flama + Agente reticulador).

Estos 2 componentes (el di-isocianato y la resina) son introducidos en una cabeza mezcladora donde son integrados, atomizados al ser descargados y depositados en la superficie en donde se requiere aplicar la espuma.

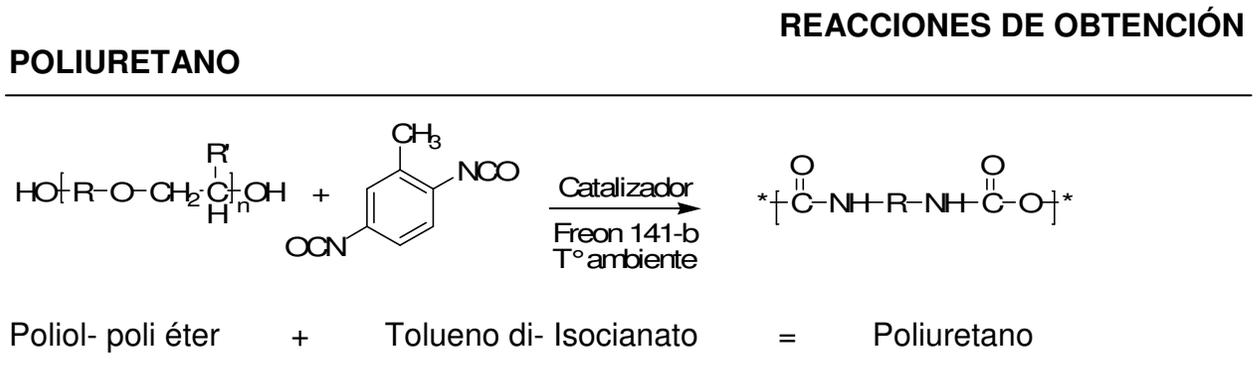


Tabla III.6 Reacción de obtención del Poliuretano<sup>9</sup>



Figura III.6 Equipo de aspersión (Glas craft)<sup>12</sup>

## REFERENCIAS

- 
- <sup>1</sup> Areizaga J., Síntesis de Polímeros., Ed. Gustavo Gill, pp 11-32 España, (2002).
- <sup>2</sup> Odyan, G.principles of polymeritation, Ed. Wiley, New York, (1981)
- <sup>3</sup> Meysenburg C.M. Von., Tecnología de plásticos para ingenieros, España, (1973).
- <sup>4</sup> Tectónica, No. 19, plásticos. Monografías de arquitectura, tecnología y construcción, Barcelona, (2005).
- <sup>5</sup> Quarmby, A., Materiales plásticos y arquitectura experimental, Ed. Gustavo Gill, Barcelona, (1976).
- <sup>6</sup> Gilman, J.W., y Kashiwagi, en *Polymer clay nanocomposites*, Polymer-layered nanocomposites with conventional flame retardants, 98,130, (2000).
- <sup>7</sup> Plena, (Planeación, energía y ambiente) Asociación de empresas para el ahorro de energía en la edificación. <http://www.ahorrodeenergia.org/>
- <sup>8</sup> Buist J., M. y Gudgeon H., *Advances in Polyurethane Technology*, Ed. John Wiley y Sons. 5ª Edición New York, EEUU (1968)
- <sup>9</sup> Kaneyoshi A., *Polyurethane and Related Foams, Chemistry and Tecnology*, Ed. Taylor & Francis Group, EEUU, (2007).
- <sup>10</sup> Asociación Técnica del Poliuretano Aplicado, Madrid – España, <http://www.atepa.org/>
- <sup>11</sup> Instituto del poliuretano. Madrid – España [www.ipur.org](http://www.ipur.org)
- <sup>12</sup> Glas Craft. Empresa distribuidora de equipo de aspersion para espuma de poliuretano. México (2007)

# Fuego



Para entender el funcionamiento de los retardantes de fuego, es necesario comprender primero la causa de la combustión. Para ello se muestra un esquema donde se encuentran los elementos necesarios para que los materiales se quemen. Eliminar uno o varios de éstos incide directamente en el fuego apagándolo. 4 elementos contribuyen a que se inicie y a que persista: fuente de ignición, combustible, agente oxidante y reacción en cadena.

**Combustible:** Cualquier sustancia que puede experimentar combustión. La mayoría de los combustibles son orgánicos, los cuales contienen carbono, hidrógeno y oxígeno en distintas proporciones<sup>1</sup>, algunos ejemplos son:

- Sólidos: plásticos, fibras, papel/madera, polvos, grasas.
- Líquidos: acetona, alcohol, hexano, éter, diesel, aceites, gasolinas, aguarras, thinner.
- Gaseosos: acetileno, propano, monóxido de carbono, hidrógeno, óxido de etileno, gas natural, gas LP.

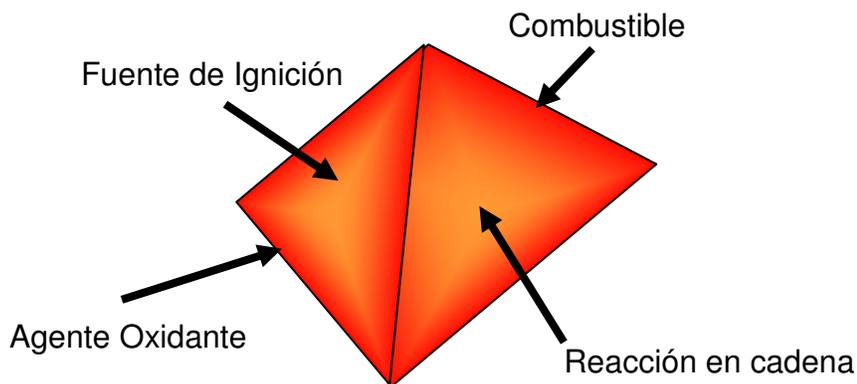


Figura. IV.1 Tetraedro del fuego

**.Agente oxidante:** En la mayoría de los casos el agente oxidante o comburente es el oxígeno de la atmósfera terrestre. Se pueden producir incendios en ausencia del oxígeno atmosférico si los combustibles se mezclan con oxidantes químicos fuertes por ejemplo:

*Oxidantes sólidos:* percloratos metálicos, peróxidos metálicos, nitrato de amonio, nitrito de amonio.

*Oxidantes líquidos:* peróxido de hidrógeno, ácido nítrico, ácido perclórico.

*Oxidantes gaseosos:* oxígeno, óxido nitroso, difluoruro de oxígeno, ozono.

**Fuente de Ignición:** Además del fuego mismo otras fuentes de ignición son chispas, calor, electricidad estática, equipo eléctrico, cigarros, focos de luz (incandescentes), calentadores, parrillas, descargas eléctricas, superficies catalíticas, láseres, auto calentamiento, metales pirofóricos.

**Reacción en cadena o** reacción auto-mantenida: Es la reacción de combustión propiamente, la cual es endotérmica. La reacción en cadena, interviene de manera decisiva en el incendio, ya que es la que provoca que los enlaces químicos se rompan y el material correspondiente se degrade. Formando CO<sub>2</sub>, agua, humo, otros gases, etc. Si se interrumpe la transmisión de radicales libres de unas partículas a otras del combustible (desarrollada por la reacción en cadena), no será posible la continuación del incendio.

## RETARDANTES DE FUEGO

La espuma rígida de poliuretano arde al ponerse en contacto con una flama y, por lo general, continúa quemándose hasta que el origen de la flama sea removido o eliminado. Sin embargo, a la espuma se le puede impartir cierto grado de resistencia a la flama mediante el uso de determinados aditivos especiales. Actualmente existen aditivos disponibles comercialmente, pero son contaminantes por contener alógenos, los cuales al quemarse producen compuestos que destruyen la capa de ozono. En este trabajo se propone a los materiales compuestos con componentes inorgánicos nanoestructurados como una mejor opción para proporcionar las características retardantes de flama.

Un retardante de fuego es un aditivo que se agrega a los polímeros para aumentar su resistencia a la combustión. Sin la ayuda de los aditivos retardantes de fuego, la mayoría de los polímeros serían vetados para su uso en muchos ámbitos de aplicación. La demanda de tales aditivos ha cambiado considerablemente en los últimos años, son una parte importante de protección ignífuga; no sólo minimizan el riesgo de que un incendio comience, sino también la velocidad en que se expande. Esta función incrementa el tiempo para escapar de un incendio y al mismo tiempo protege a las personas y, dependiendo del aditivo, también al medio ambiente.

Es importante que se seleccionen los mejores retardantes de fuego para aplicaciones específicas buscando si es posible, que las propiedades del polímero también se mejoren. Una mala selección puede conducir a presentar algún deterioro del material o de sus propiedades como por ejemplo:

**Durante la producción y aplicación de los plásticos:**

- Deterioro de las propiedades mecánicas y/o eléctricas del polímero.
- Pueden verse afectadas la resistencia al agua, a altas temperaturas, al sol, a los productos químicos.

**Durante la transformación:**

- Migración/emisión: algunos retardantes de fuego migran fuera del material sometidos a condiciones determinadas, por ejemplo, se evaporan.

**Durante el reciclado o desechado:**

- Posibilidad de emanar productos tóxicos de descomposición al ser calentados o quemados.

Por lo anterior, se está buscando actualmente que los retardantes de fuego modernos, no sean tóxicos para los seres humanos, animales o plantas ni desprender gases tóxicos o corrosivos adicionales durante el fuego; que no se dispersen, (no debiesen evaporarse, inmigrar a la superficie). También se requiere que no afecten negativamente las propiedades mecánicas y de reciclaje de los productos y respeten la integridad del medio ambiente, es decir, sean neutrales.

Por lo anteriormente expuesto, continuamente se están desarrollando aditivos para que cumplan con las siguientes funciones:

- Retardar la combustión del plástico
- Extinguir el fuego
- Evitar goteo
- Evitar o disminuir el humo

Ejemplos de retardantes de fuego comerciales para plásticos en general son:

- Alúmina trihidratada
- Óxido de antimonio
- Halogenados
- Fibra de vidrio

### MECANISMOS DE ACCIÓN DE LOS RETARDANTES DE FUEGO

Se han hecho diversas propuestas de los mecanismos que inhiben la combustión, esta depende del tipo de polímero y del tipo de aditivo que tenga. Aquí se presenta una de muchas clasificaciones considerando efectos a) químicos y b) físicos.<sup>2</sup>

**Efecto químico:** Esto considera que el aditivo se degrada durante la combustión y genera vapores que detienen el mecanismo de combustión, al inhibir la reacción en cadena. Entonces se provoca la suspensión del calor que genera la flama. Por lo tanto, el plástico se enfría y se detiene el flujo de gases combustibles. La interrupción de la reacción en cadena ocurre cuando los radicales altamente reactivos ( $H\cdot$  y  $\cdot OH$ ) resultado de la degradación del aditivo se unen con otros radicales. También se puede degradar el polímero anticipadamente para disminuir el efecto que tendrá la flama sobre él. Un ejemplo de polímero que se auto extingue de esta forma es el PVC, al degradarse durante la combustión libera  $Cl_2$  (g), este gas disuelve al  $O_2$  que se encuentra en la atmósfera y de esta forma primero disminuye la concentración del oxígeno y luego se elimina uno de los 4 elementos para que se lleve a cabo la combustión.

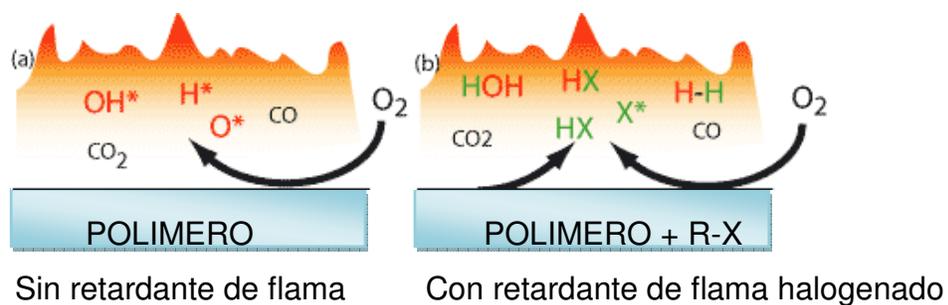


Figura. IV.2 Efecto químico

**Efecto intumescente:** Los retardantes de fuego que trabajan de este modo, deshidratan al material orgánico **carbonizándolo** superficialmente, en vez de formar gas inflamable. La intumescencia (ver Figura. IV.3) es un caso especial donde se disminuye la cantidad de combustible al aumentar la capa carbónica. La capa se comporta como una **barrera para el oxígeno** que separa al plástico fundido (y al que aún no se quema), de la flama y del oxígeno, funcionando como un escudo protector.

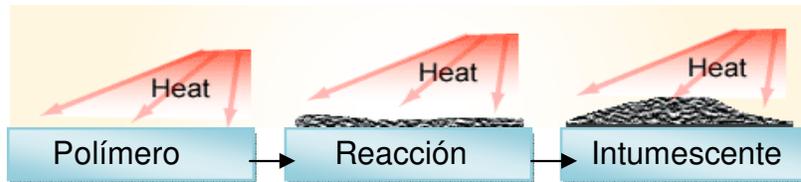


Figura. IV.3 Intumescencia

**Efecto físico:** En este caso, los aditivos forman un escudo de baja conductividad térmica reduciendo la transferencia de calor de la fuente de calor al material. De esta forma se detiene la degradación del material al evitarse su transformación en combustible que alimenta al fuego. Muchos de los retardantes de fuego que trabajan de esta forma crean una barrera vítrea protectora. Por otro lado, la degradación del retardante de fuego incide en la energía requerida para la combustión del plástico, el aditivo se vuelve endotérmico, es decir, **absorbe calor**, lo cuál enfría al plástico por debajo de la temperatura requerida para poderse seguir quemando. Este es un efecto de enfriamiento mediante el cual trabajan varios hidróxidos metálicos. (Ver figura IV.4).

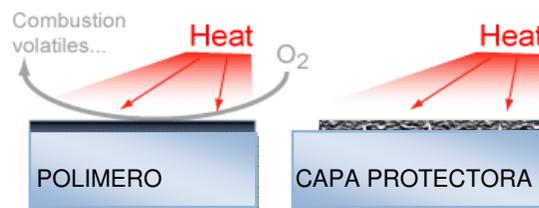


Figura. IV.4 Efecto físico

### MECANISMO DE ACCIÓN DE LA [Ben] COMO RETARDANTE AL FUEGO

Gilman propuso el siguiente mecanismo de efecto físico para explicar como es que la estructura cristalina de la [Ben] interacciona con la matriz polimérica durante el inicio de una combustión para inhibirla.

“La estructura nanocompuesta aparentemente empieza a colapsarse durante la combustión. La estructura de multicapas carbón-silicatos se alza sobre las cadenas carbonizadas para formar una estructura de refuerzo.

Esta cadena de silicatos y polímero carbonizado actúa como un excelente aislante o barrera de transporte de masa”<sup>3</sup>

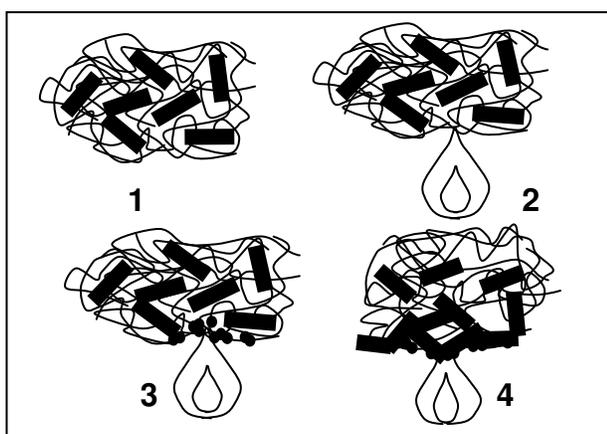


Figura. IV.5. Esquema del mecanismo de Gilman

En la figura IV.5 se observan cuatro etapas:

Etapa 1: Las láminas de la [Ben] se encuentran exfoliadas dentro de la matriz polimérica.

Etapa 2: La fuente de ignición es acercada al nanocompuesto, la pirólisis comienza.

Etapa 3: Las cadenas de la matriz polimérica empiezan a romperse. Debido a que las laminas de Silicatos de la [Ben] se encuentra recargada sobre las cadenas de la matriz polimérica, cuando empieza la pirólisis las láminas se colapsan.

Etapa 4: Las láminas derrumbadas de silicatos forman una barrera que no permite ni la entrada ni la salida de materia y energía. El polímero carbonizado también forma parte de la barrera que impide la combustión.



Figura IV.6 eliminación de goteo

---

<sup>1</sup> Norma Oficial Mexicana NOM-018-STPS-2000 Sistema para la Identificación y Comunicación de Peligros y Riesgos por Sustancias Químicas Peligrosas en los Centros de Trabajo, pp 178-192.

<sup>2</sup> Gilman J W, Kashiwagi T, Polymer-Layered Silicate Nanocomposites Conventional Flame Retardants, Inglaterra, pp 193-205, (2000).

<sup>3</sup> Pinnavaia, Bell, editores en "Polymer clay nanocomposites Cap 10 Polymer-Layered Nanocomposites Conventional Flame Retardants por J.W. Gilman y Kashiwagi,98,130 (2000)

Parte Experimental



**PARTE EXPERIMENTAL**

REACTIVOS:

Nombre	Acrónimo	Estructura Química	Marca/pureza
Poliol	Poliol	R-(OH) <sub>n</sub>	Poliformas SA de CV/ grado industrial
Diisocianato	Isocianato	OCN-R-NCO	Poliformas SA de CV/ grado industrial
Ácido Aminoundecanoico	[AAC11]	CO <sub>2</sub> H(CH <sub>2</sub> ) <sub>10</sub> NH <sub>2</sub>	Aldrich /99%
Arcilla Bentonita	[Ben]	Na <sup>+</sup> SiO <sup>-</sup>	Tizayuca/49meq/100g
Ácido Clorhídrico	HCl	HCl	Baker 85%w/w

Tabla V.1 Reactivos de experimentación

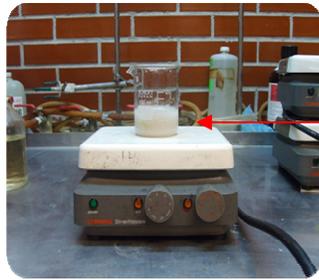
Todos los reactivos se usaron sin purificación adicional.

**SINTESIS DEL NC**

Se obtuvieron dos tipos de **NC**. El primer tipo [Pur+Ben] consistió en el uso de la arcilla [Ben] dispersada en el polioli; el segundo usó la arcilla con intercambio catiónico con el cloruro de amonio del ácido-1-undecanoico para obtener el [Ben-AAC11] dispersada en el polioli.

**Obtención de Polioli-[Ben].**

Se pesan 50g de polioli en un vaso de precipitados y se le adiciona, con agitación magnética constante a bajas revoluciones por minuto, la concentración de arcilla [Ben] correspondiente en unidades de porcentaje en gramos de arcilla por cien de resina (pcr), durante 2.5 horas, a temperatura ambiente. El esquema de la reacción se presenta en la figura siguiente.



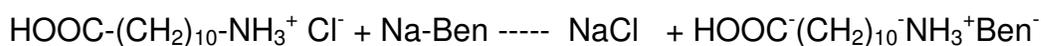
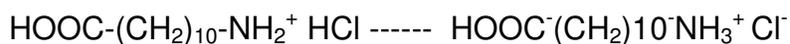
[Poliol + Ben]

## Preparación de [Ben-AAC11]

En un vaso de precipitados se prepara la solución de [AAC11] en el mínimo de H<sub>2</sub>O (100mL), dispersando primeramente el ácido aminoundecanoico y añadiendo los miliequivalentes estequiométricos 1:1 del ácido clorhídrico, para formar el correspondiente clorhidrato, ver más adelante los cálculos. Se adiciona la arcilla [Ben] y se agita hasta homogenizar la mezcla a temperatura ambiente, durante 1 hora. Una vez terminada la reacción de la arcilla con el clorhidrato de aminoácido se introduce en la estufa de convección natural a 60 °C para acelerar el secado, se deja durante 24 horas. Se muele en mortero para eliminar cualquier grumo, se tamiza en un equipo con cinco mallas. Se emplea la arcilla que llega a la de 600 mesh y se introduce nuevamente en la estufa a 80 °C durante 2 horas para asegurar la remoción de humedad.



Tamizador eléctrico



**Obtención de Polioliol + [Ben-AAC11]**

Se pesan 50 g de polioliol en un vaso de precipitados y se le adiciona, con agitación magnética constante a bajas revoluciones por minuto, la concentración de arcilla [Ben-AAC11] correspondiente en pcr, durante 2.5 horas, a temperatura ambiente.

**Cálculos para el intercambio iónico de arcilla [Ben] con [AAC11-HCl]**

El procedimiento consistió en mezclar en proporción 1:1 meq de la arcilla [Ben] y [AAC11-HCl].

**Paso numero uno.** Cálculo de cantidad de arcilla necesaria para toda la experimentación.

Se prepararán 70 g de montmorillonato de amonio a partir del ácido-11-aminoundecanoico (Se requieren 55g de bentonita para las diez concentraciones que se experimentarán (10 + 9 + 8 + 7 + 6 + 5 + 4 + 3 + 2 + 1), más 15g de margen).

**Paso numero dos.** Cálculo del peso molecular del ácido aminoundecanoico.

$\text{CO}_2\text{H}(\text{CH}_2)_{10}\text{NH}_2$  [AAC11] = 99 % de pureza

**Cálculo de peso molecular**

C 11 átomos C x 12 = 132  
O 2 átomos de O x 16 = 32  
H 23 átomos de H x 1 = 23  
N 1 átomos de N x 14 = 14

**201 g/mol**

**Paso numero tres.** Cálculo de los meq en gramos de arcilla [Ben] a intercambiar en estequiometría 1:1 con el clorhidrato de alquilamonio [AAC11-HCl].

La arcilla [Ben] tiene una capacidad de intercambio catiónico de 49.66 meq/100g de arcilla.

La proporción fue 1:1 meq

$$70g \text{ arcilla [Ben]} \left( \frac{49.66 \text{ meq arcilla}}{100g \text{ arcilla}} \right) \left( \frac{1 \text{ meq [AAC11]}}{1 \text{ meq arcilla}} \right) \left( \frac{201g \text{ [AAC11]}}{1000 \text{ meq [AAC11]}} \right) = 6.9871g \text{ [AAC11]}$$

El ácido está al 99 % de pureza, usando la regla de tres inversa, se tiene que:

$$100\% \left( \frac{6.987g}{99\%} \right) = 7.057g \text{ [AAC11]} \quad \text{al } 99\% \text{ contienen } 6.98g \text{ de aminoácido}$$

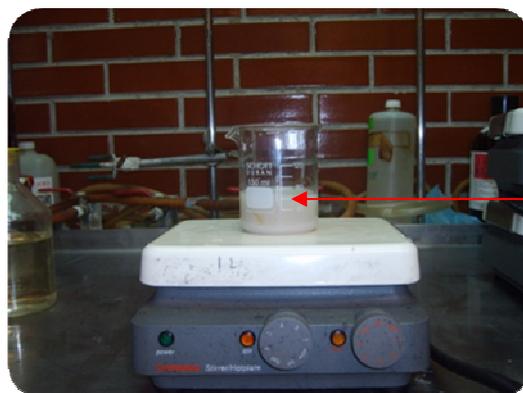
**Paso numero cuarto.** Cálculo de los equivalentes de HCl para la reacción de adición del HCl al 37% wt acuoso en relación 1:1 meq.

$$\left( \frac{1 \text{ eq HCl}}{1 \text{ mol HCl}} \right) \left( \frac{1 \text{ mol HCl}}{36.5g \text{ HCl}} \right) \left( \frac{100 \text{ meq}}{1 \text{ eq}} \right) = 27.397 \frac{\text{meq de HCl}}{g}$$

$$7.057g \text{ [AAC11]} \left( \frac{1000 \text{ meq [AAC11]}}{201g \text{ [AAC11]}} \right) \left( \frac{1 \text{ meq HCl}}{1 \text{ meq [AAC11]}} \right) \left( \frac{1g \text{ HCl}}{27.397 \text{ meq HCl}} \right) = 1.2816g \text{ HCl}$$

**Paso numero cinco:** Cálculo de los mL de solución de HCl

$$1.2816g \text{ HCl} \left( \frac{100g \text{ HCl}}{37g \text{ HCl}} \right) \left( \frac{1 \text{ mL sol HCl}}{1.185g \text{ sol HCl}} \right) = 2.923 \text{ mL sol HCl}$$



[Poliol + Ben-AAC11]

La estequiometría 1:1 es: 7.057g [AAC11] al 99% se hicieron reaccionar con 2.923 mL de solución de HCl al 37%wt.

**Preparación de MOLDE**

Primeramente se diseñó un molde cuyas restricciones más importantes eran, que debía resistir alta temperatura por la reacción exotérmica del material. Con base en esto, se utilizó un molde de lámina galvanizada, forrada con una capa de caucho de silicón, para obtener un acabado más uniforme en la base, se utilizó un agente desmoldante.

El molde para su construcción se basó en las dimensiones y características que se observan en la figura V.1.

**MOLDE**

Figura V.1 Características de molde

Antes de proceder a formar la espuma se untan el reactor, el molde y el con agente desmoldante.

**Obtención de espumas de PU****NC [Pu + Ben] y [Pu + Ben-AAC11]**

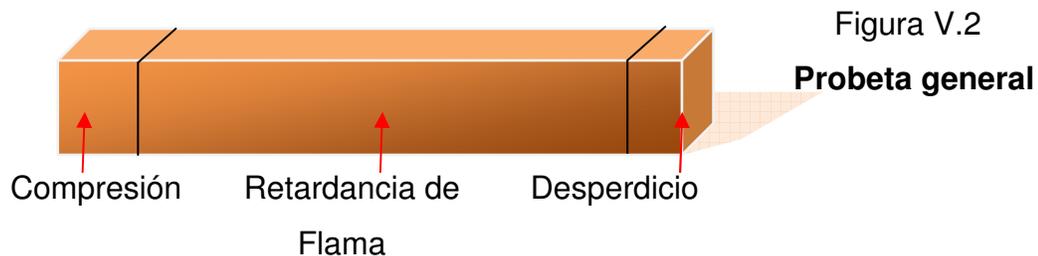
Las espumas se obtuvieron mediante la polimerización por adición del polioliol (conteniendo la arcilla dispersada) y el Isocianato.

El procedimiento para formar la espuma consiste en un reactor de plástico de 1 L, al cual se adicionan los componentes del **NC**, posteriormente se inclina el reactor y se introduce el agitador mecánico hasta el fondo del mismo, (éste también recubierto con agente desmoldante) y se agita durante 17 segundos. Se debe conservar una agitación uniforme a 1200 rpm. INMEDIATAMENTE al término de este tiempo se hace el vaciado de la espuma en el molde sin excederse de 10s para evitar la polimerización en el reactor.

Una vez vaciada la reacción en el molde se sella manualmente para evitar derrames. Se deja formando la espuma 2 min más para que polimerice completamente.

Se retira la tapa para abrir el molde. La espuma que está contenida se separa de las caras internas con una espátula procurando que queden uniformes los cortes.

A la espuma resultante se le denomina probeta general, a partir de ésta se marcan dos zonas para hacer la caracterización de la misma: la zona para 3 muestras de compresión y la sección para 5 muestras de retardancia a la flama, como se muestra en la figura siguiente. La parte superior es desperdicio.



## CARACTERIZACIÓN DE LAS ESPUMAS

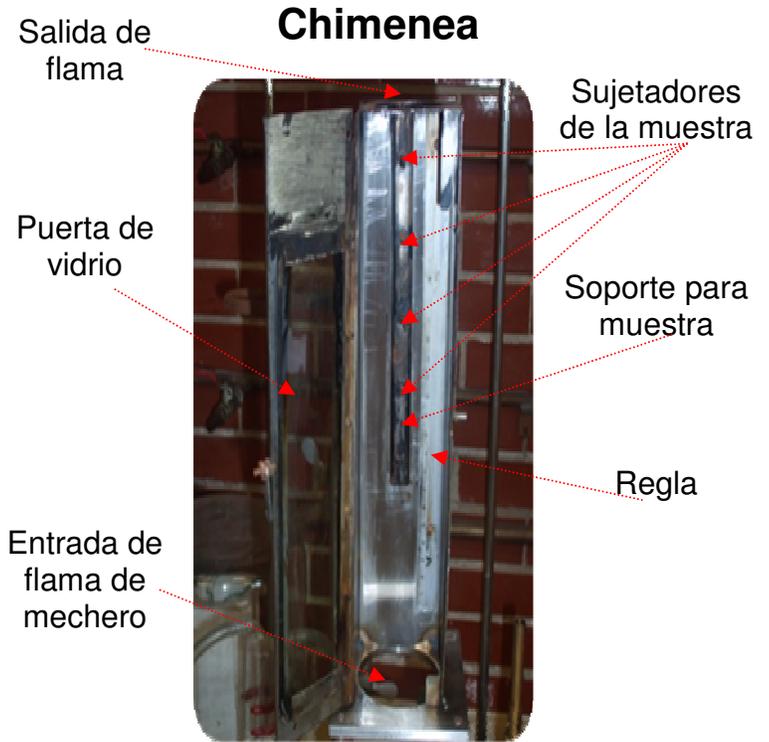
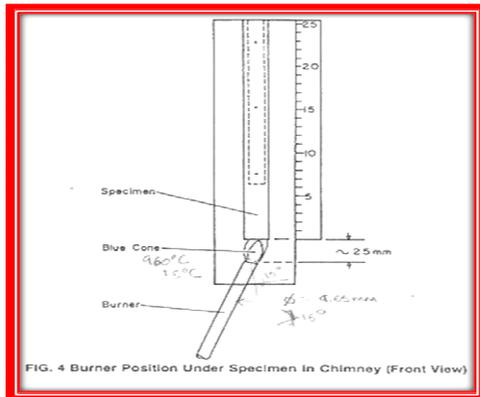
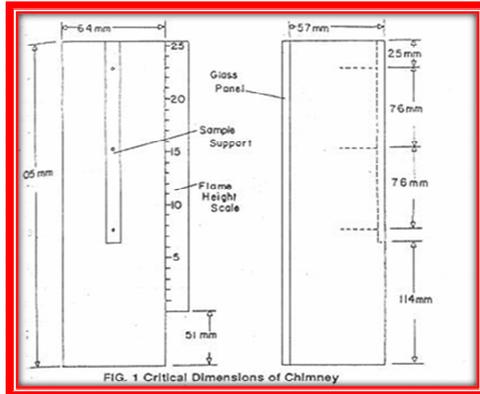
Muestras para ensayos**Retardancia a la Flama****NORMAS**

Las normas que se emplearon para la determinación de esta prueba y de las cuales se obtuvieron las condiciones de operación de los equipos empleados son las siguientes:

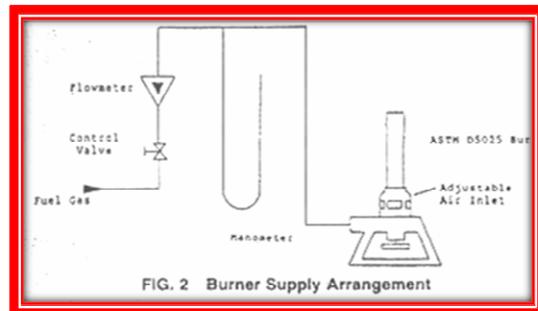
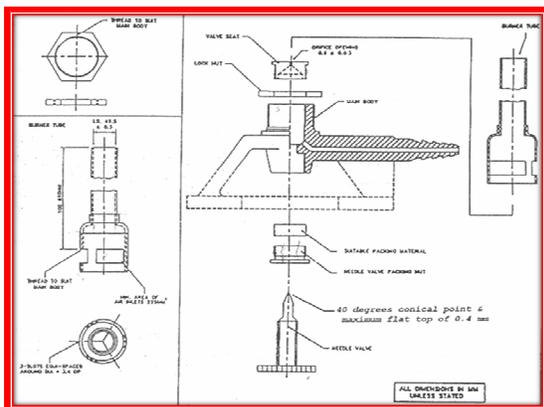
- **Calibración de flama del mechero:** ASTM – D 5207 – 98, Standard Practice for Confirmation of 20 and 125mm Test Flames for Small – Scale, Burning Test on Plastic Materials.
- **Diseño del mechero:** ASTM - D – 52025 – 99 Standard Practice for Confirmation of 20 and 125mm Test Flames for Small – Scale, Burning Test on Plastic Materials.
- **Diseño de la muestra para medir los parámetros retardantes de fuego:** : ASTM - D – 3014 – 99 Standard Test Method for Flame Height, Time of Burning, and Loss of Mass of Rigid Thermoset Cellular Plastics in a Vertical Position.

Enseguida se muestran los diseños para la fabricación de la chimenea, del mechero así como la distancia del mechero con respecto a la muestra:

**Diseño de chimenea (ASTM - D – 3014 – 99)**



**Diseño de mechero**



**Dimensiones de muestra (ASTM - D – 3014 – 99)**

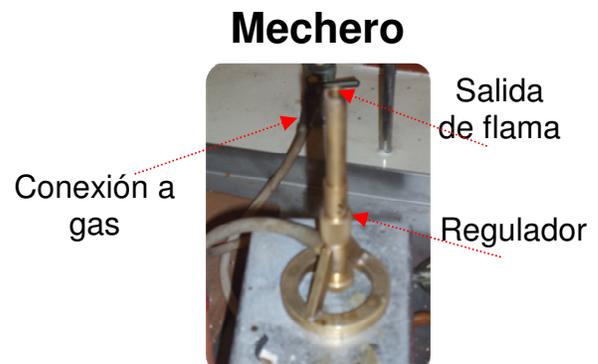


Figura V.3 Diseño de chimenea y mechero.

Las dimensiones de las muestras que se emplearon para el ensayo se pueden observar en la figura V.4.

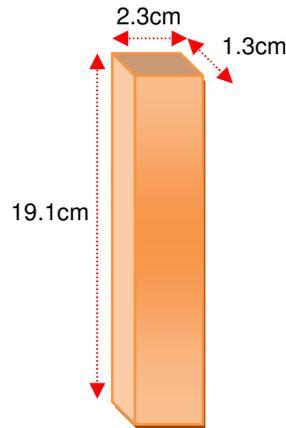


Figura V.4 Muestra - Retardancia de Flama

### Procedimiento de medición de parámetros retardantes de fuego

(ASTM - D – 3014 – 99).

La muestra se pesa y se coloca verticalmente fijándola en la parte posterior de la chimenea. Posteriormente se cierra la puerta de vidrio y se procede a acercar la llama del mechero a 45° a la base de la chimenea. Se deja 10 segundos y se retira. Se mide el tiempo a partir de que pasan los diez segundos hasta que se apague (tiempo de ignición). Se anota si hubo goteo y observaciones adicionales cuando proceda. Se mide el peso final de la muestra. La prueba se realiza por quintuplicado para cada concentración. Este procedimiento se esquematiza en la figura V.5.

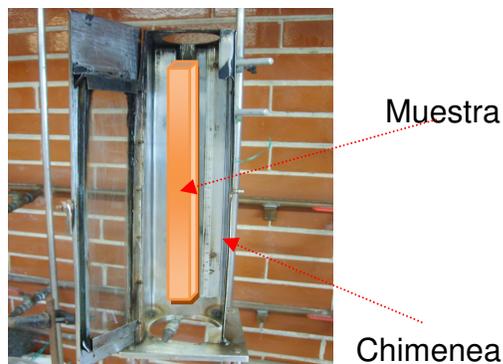


Figura V.5 Colocación de la muestra

### ENSAYO DE COMPRESIÓN

Las pruebas de compresión se realizaron mediante el procedimiento establecido en la norma ASTM-D3574-95 *“Standard Test Methods for flexible Cellular Material–Slab, Bonded, and Molded Urethane Foams”*.

La forma de las probetas es rectangular y las dimensiones de la muestra (probeta) son 10 cm de largo, 5 cm de ancho y 10 cm de alto. Las superficies deben estar completamente lisas y paralelas. Esto se logro con un cortador especial marca truper. Se realizan las pruebas por triplicado para cada concentración. Haciendo un total de 60 pruebas.

Para las mediciones de pruebas mecánicas se usa “La máquina para pruebas universales INSTRON, 5500”. La velocidad de compresión o cruceta usada fue 1 mm/min, temperatura ambiente, 25° C y en condiciones de humedad de 50%.

#### Procedimiento

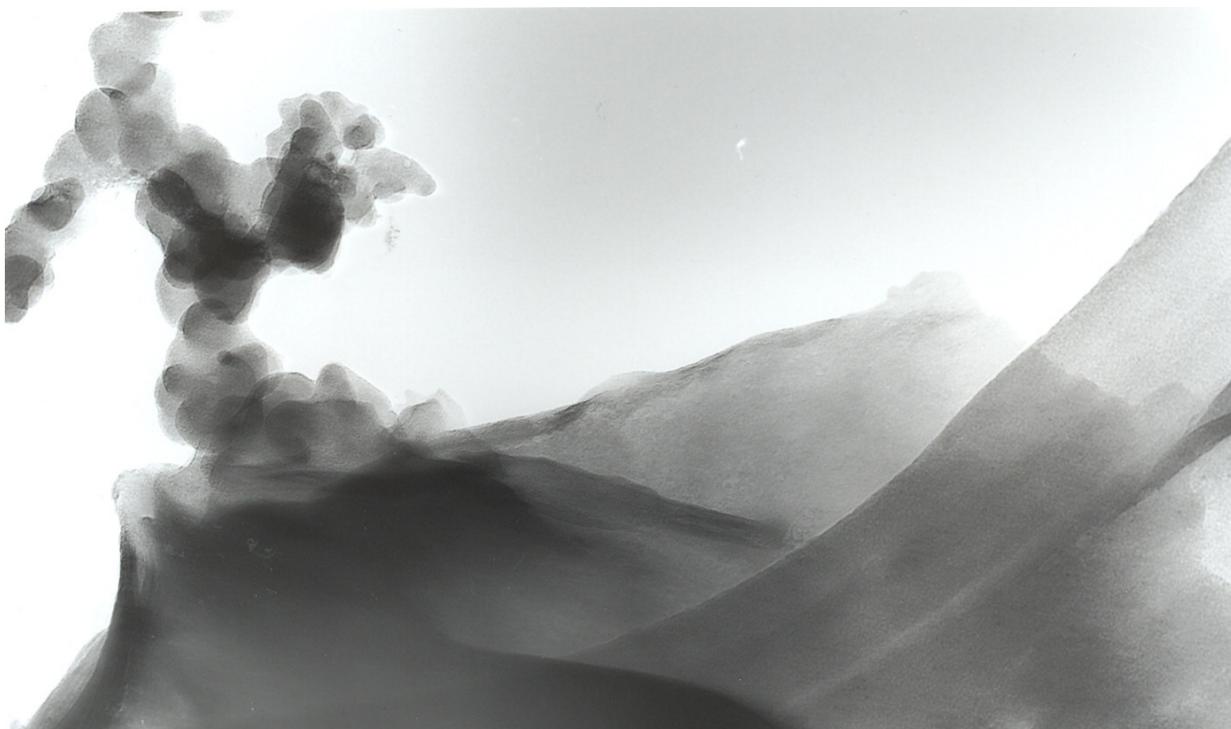
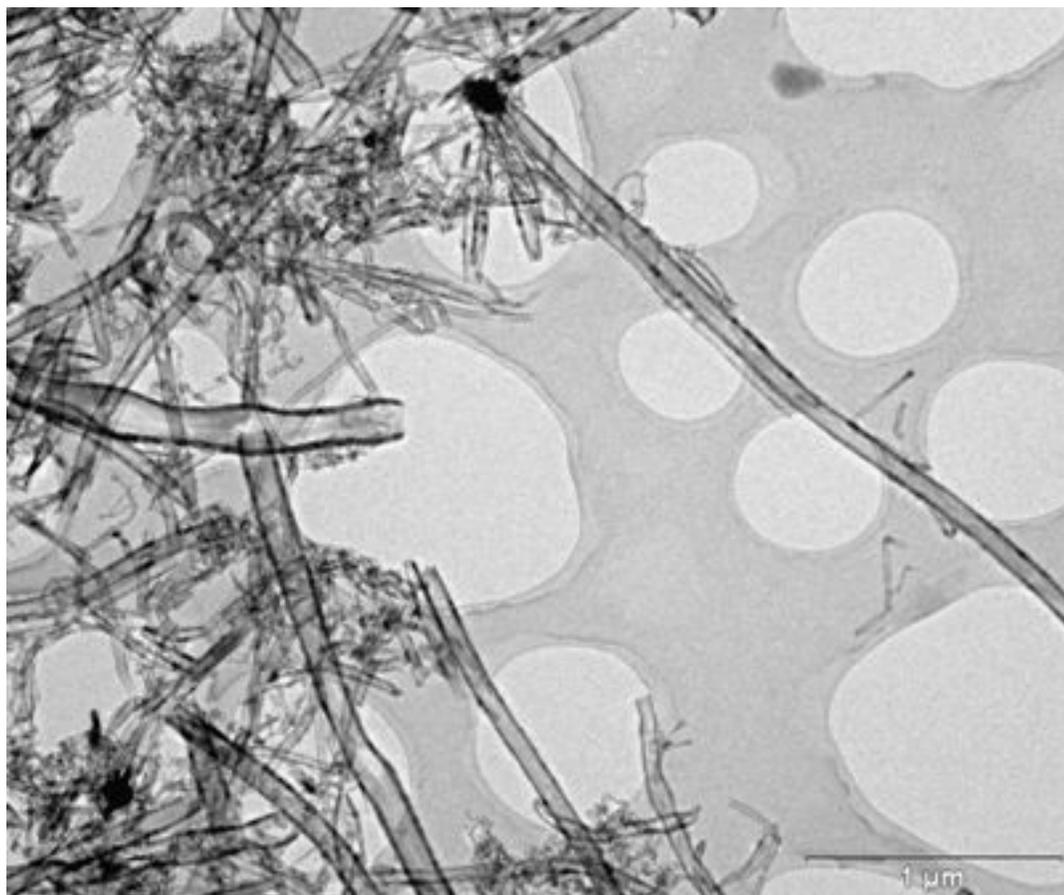
Se coloca la probeta en el centro de la parte inferior del equipo, posteriormente se baja la placa superior hasta rozar la muestra.

Posteriormente se empieza a comprimir la muestra empezando de cero carga (0 Lbf), y se va incrementando hasta llegar a la fractura del material, que es la carga máxima y el punto máximo de nuestro material. Se mide inmediatamente la deflexión con un vernier retirando la muestra justo después de romperse.

Las propiedades de evaluación que aporta el equipo **“INSTRON, 5500”** al hacer el experimento de compresión son:

- Carga Máxima
- Esfuerzo Deformación

De esto se obtienen los siguientes parámetros: Carga máxima, Extensión máxima, punto de carga máxima, punto de extensión máxima.



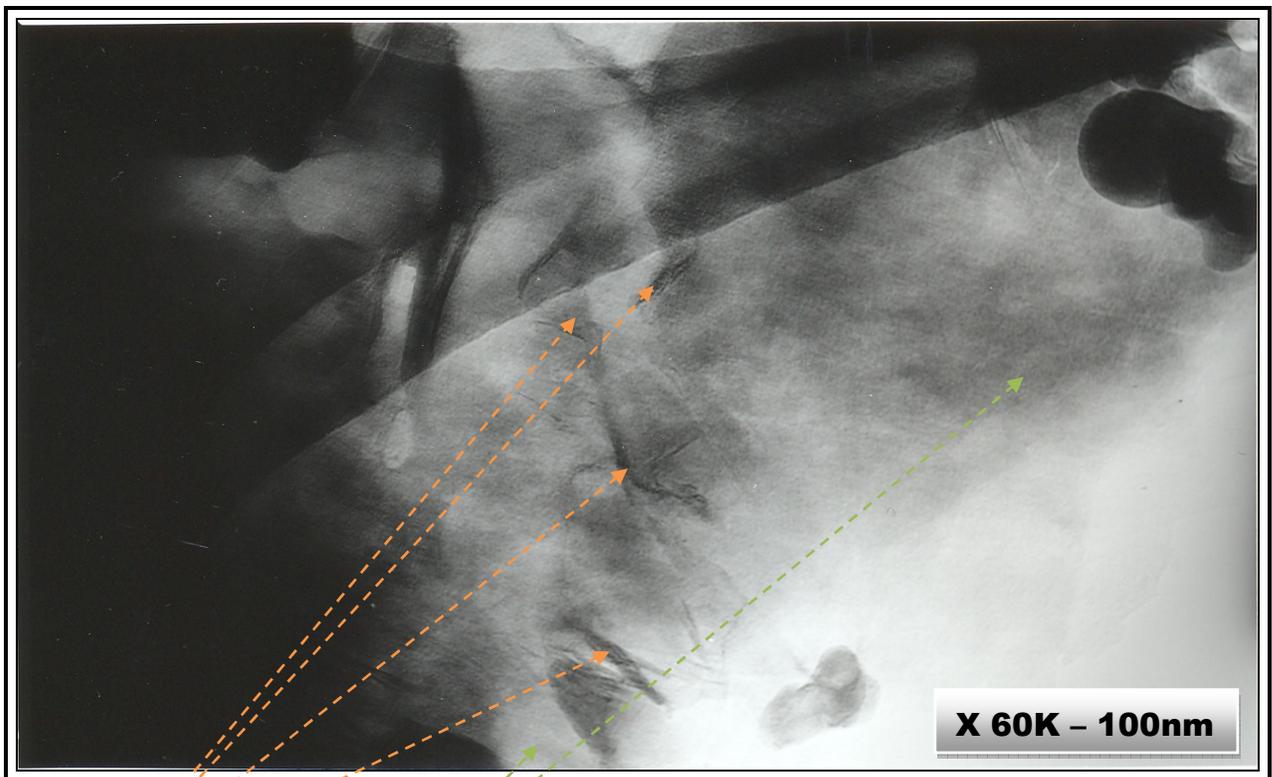
**RESULTADOS**

Uno de los principales objetivos de los Nanocompuestos (**NC**) de espuma de poliuretano [**PU**], es la obtención de materiales que tengan mejores propiedades mecánicas y de retardancia de flama, que el polímero precursor.

Se obtuvieron una serie de **NC**, (distintas formulaciones), mediante el proceso de espumado manual. Se pudieron obtener las probetas, de las cuales se caracterizaron por Difracción de rayos X (**DRX**) y Microscopia de transmisión electrónica (**TEM**), evaluando sus propiedades mecánicas y propiedades de retardancia de flama.

**Microscopia de transmisión electrónica (TEM)**

Se puede observar en figura VI.1 una fotografía tomada por el Microscopio de transmisión electrónica (**TEM**), en donde se puede observar la exfoliación de la arcilla modificada con el poliuretano a 3pcr.



Arcilla exfoliada

Polímero

Figura VI.1. Fotografía a 3 pcr en [TEM]

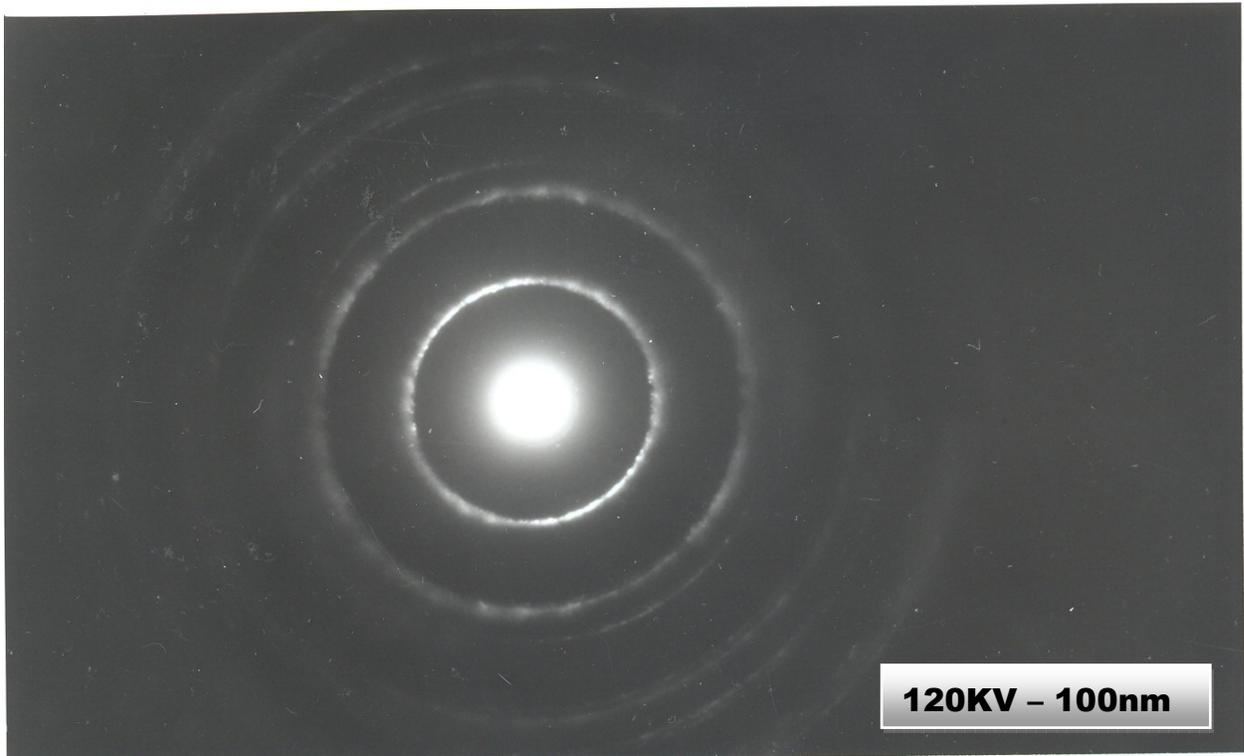


Figura VI.2. Fotografía de patrón de arcilla detectada [TEM]

### Difracción de Rayos X (DRX)

En la Figura VI.2 se muestra el patrón de difracción de rayos X (DRX), de la arcilla [Ben] en donde se pueden apreciar los picos de difracción que muestran una estructura cristalina.

Es una Figura de intensidad contra el ángulo  $2\theta$ . De  $2$  a  $10^\circ$  aparece el característico pico (de  $14 \text{ \AA}$ ), que radica el espaciamiento interlaminar junto con la distancia interlaminar. La variación de esta señal, se obtiene el espacio interlaminar, es decir la distancia existente entre una lámina y otra. El pico que aparece arriba de  $60^\circ$ , se ha tomado como referencia para verificar si el equipo está detectando la arcilla (ya que no es tapado por la señal del polímero) en caso que desaparezca la señal del plano 001, si tampoco aparece la de  $60^\circ$ , será porque el equipo no está detectando ninguna arcilla, y no podrá deducirse exfoliación.

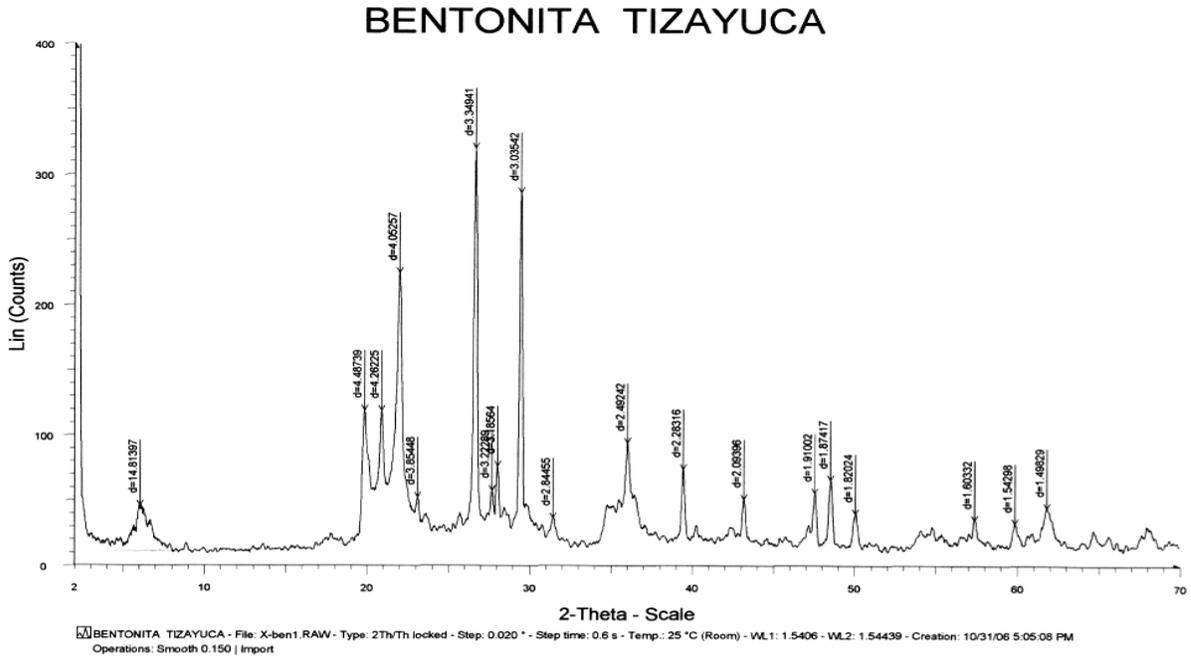


Figura VI.3 Patrón de DRX de la [Ben]

### Difracción de Rayos X [PU]

El poliuretano es un polímero con estructura amorfa es decir desordenada, es por eso que no hay picos de difracción. En la Figura VI.3 se muestra el patrón de (DRX) del [PU]. Se puede apreciar que existe una zona en forma semejante a una parábola hacia mayores ángulos alcanza su máximo alrededor de  $20^\circ$  y luego decrece.

Es importante que la matriz polimérica no presente señales de difracción en el intervalo debajo de 2 tetha, para poder observar los picos de difracción del plano 001, que permiten monitorear el cambio en el espacio interlamilar. También se pueden apreciar las señales de la arcilla arriba de  $60^\circ$  con esta matriz. De esta manera si la señal debajo de  $10^\circ$  no aparece y tampoco se observa señal alguna arriba de  $60^\circ$ , se puede afirmar que el equipo no está detectando la arcilla. Sin embargo, si no aparece nada debajo de  $10^\circ$  y sí están las otras señales de la arcilla a altos grados de 2 theta entonces podremos tener evidencia de exfoliación con esta técnica.

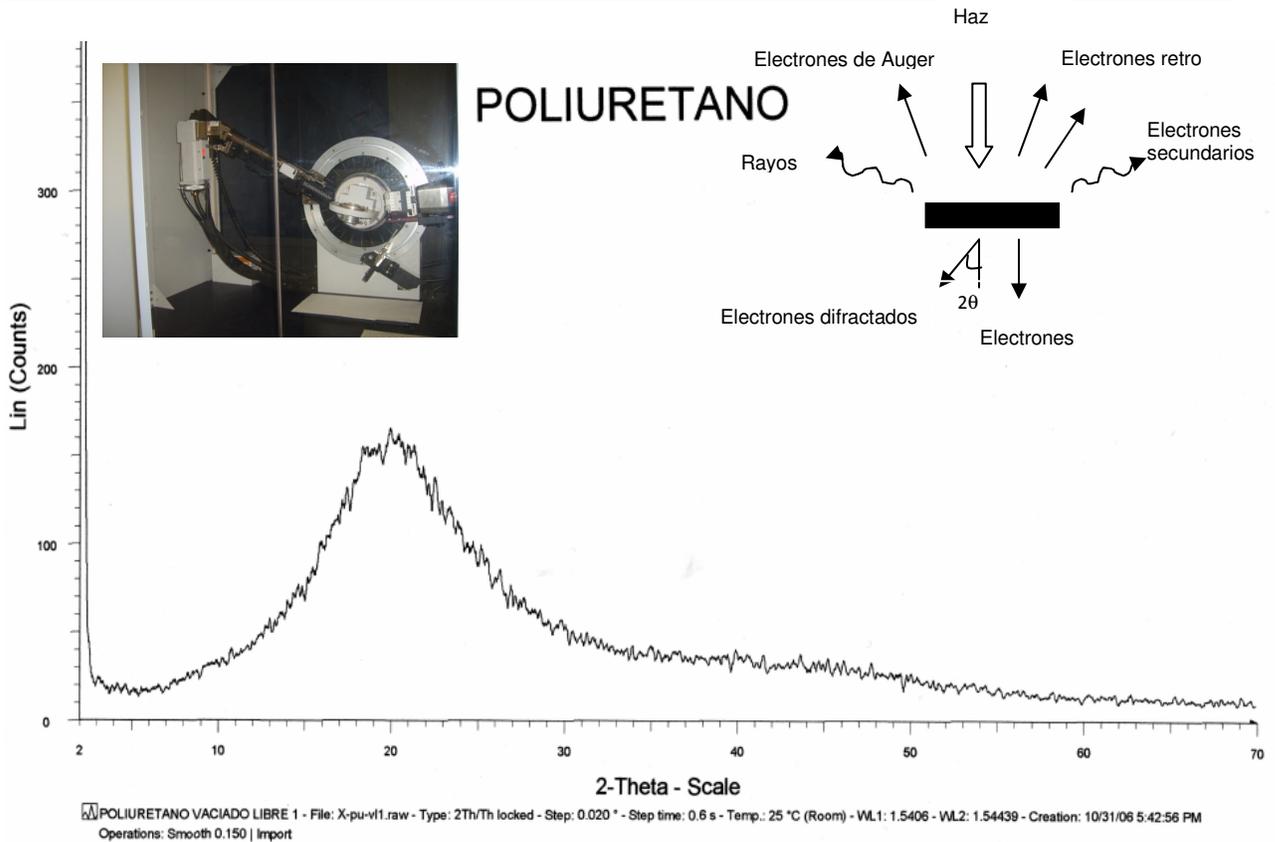


Figura VI.4 Patrón de (DRX) de la Espuma [PU].

A continuación en la Figura VI.4 se muestra el patrón de (DRX) de la arcilla modificada con hidrocloreuro de ácido aminoundecanoico [Ben-ACC11] en donde se pueden apreciar los picos de difracción que muestran su estructura cristalina. La primera señal se ha recorrido a  $17.3 \text{ \AA}$ , indicándonos un aumento de 3 unidades que conduce a un espacio interlaminar de  $7 \text{ \AA}$ . (ver tabla VI.1).

BENTONITA MODIFICADA

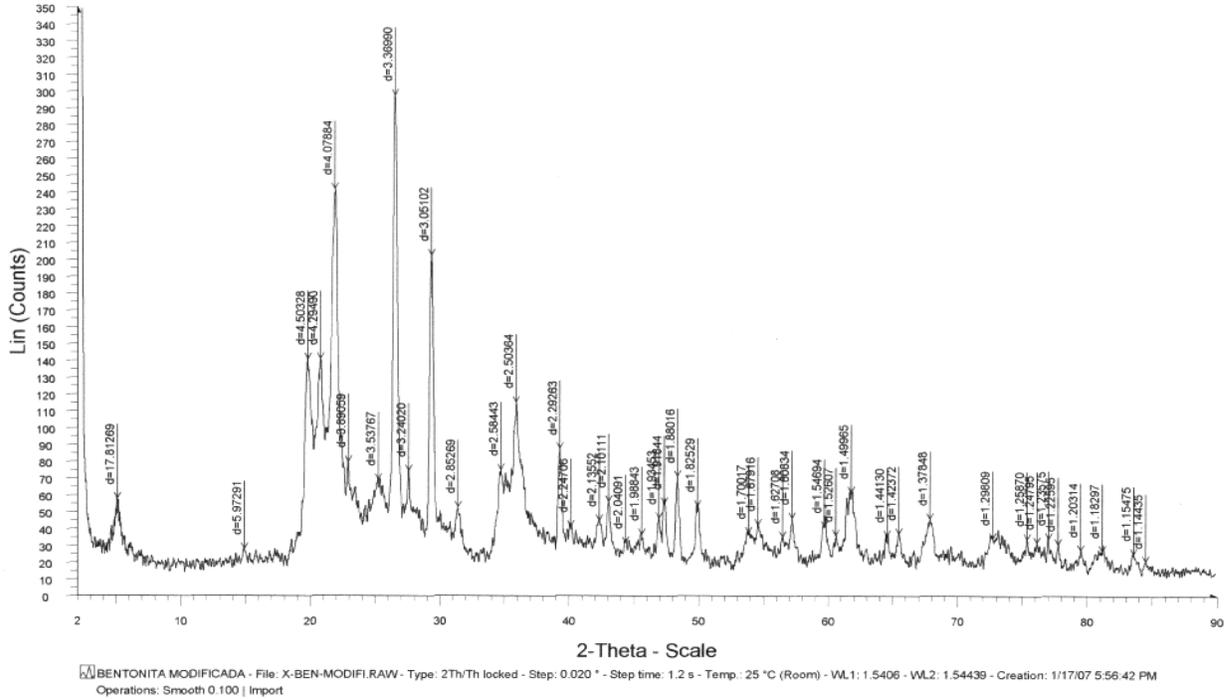


Figura VI.5. Patrón de (DRX) de [Ben-AAC11]

Arcillas	Espacio Interlaminar d (Angstrom)	Espacio interlaminar
[Ben]	14.81	4
[Ben-AAC11]	17.82	7

Tabla VI.1. Espacio interlaminar de arcillas modificadas

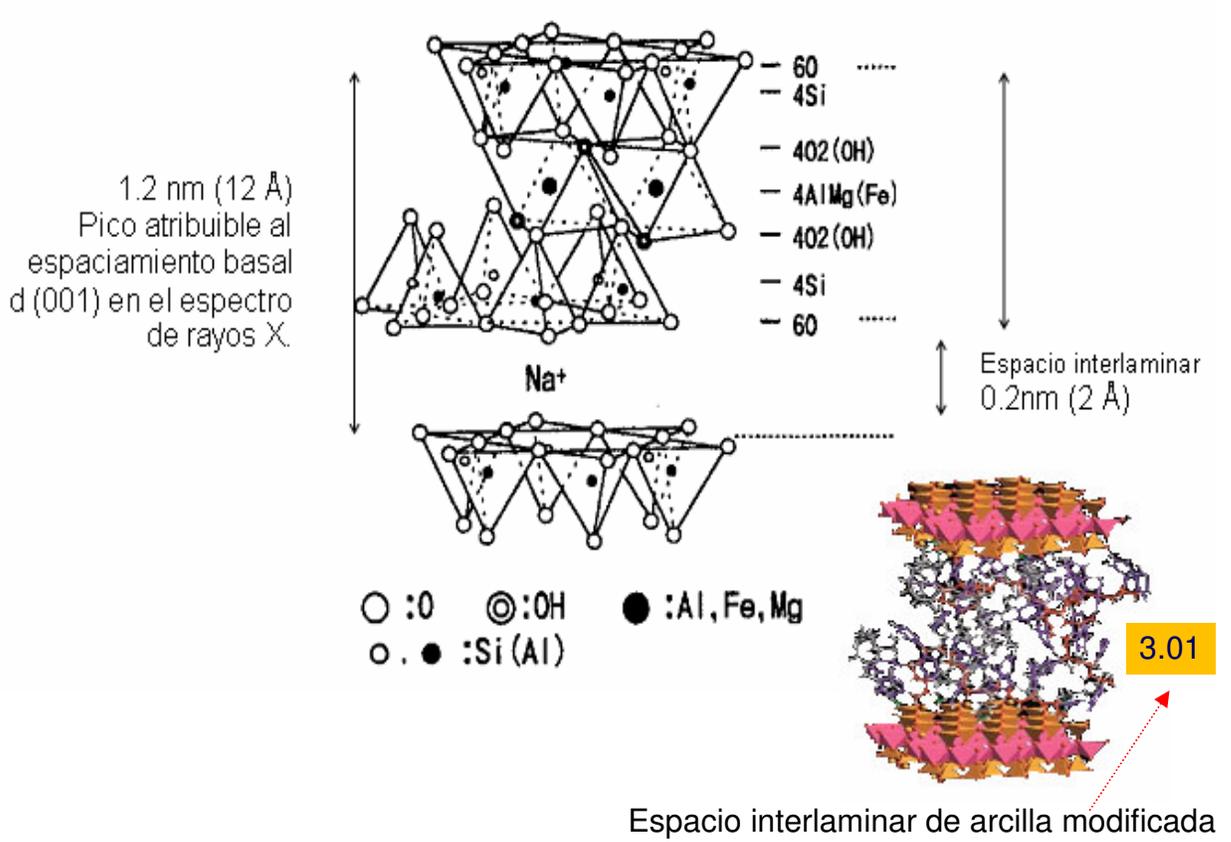


Figura VI.6 Estructura de la arcilla [Ben] y [Ben-AAC11]

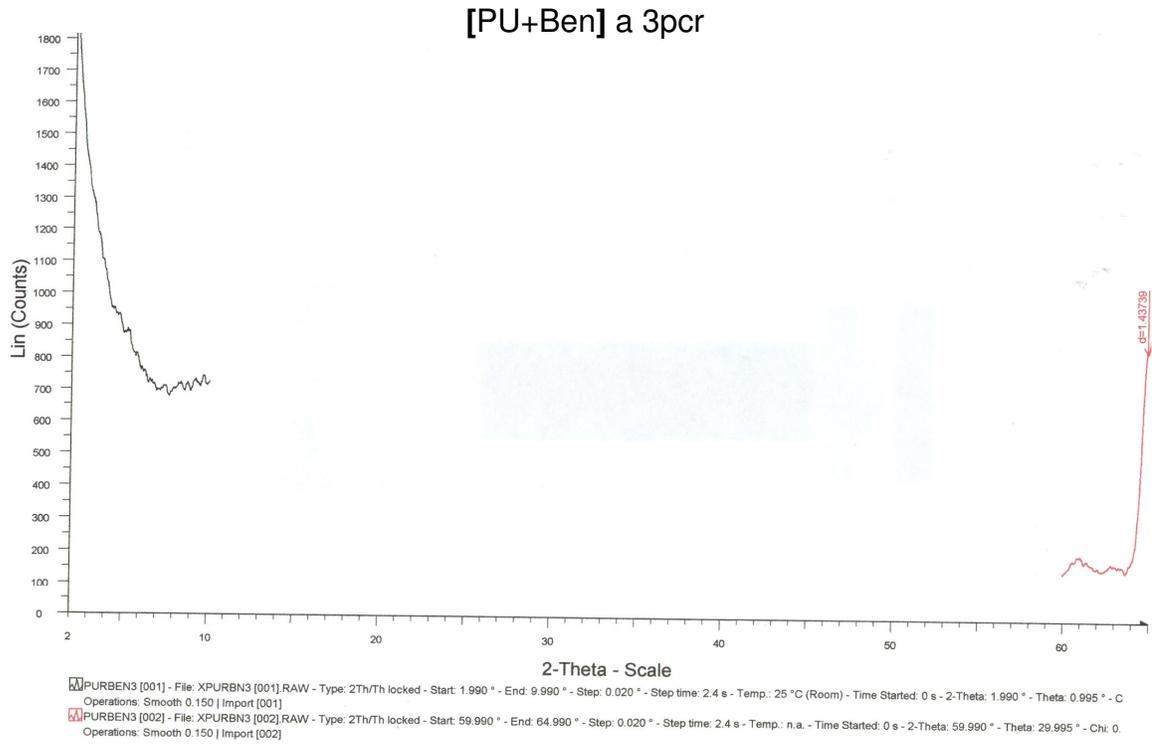


Figura VI.7. Donde se observa exfoliación, patrón de (DRX) de [PU+Ben] a 3pcr

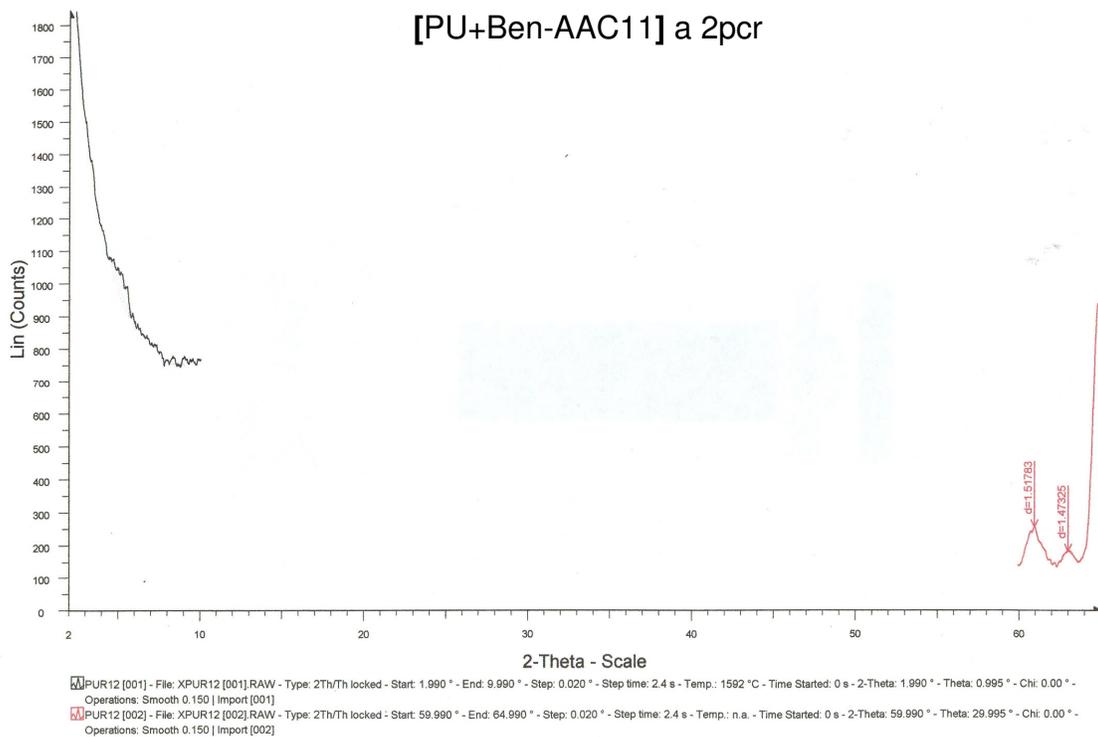


Figura VI.8, se observa exfoliación, patrón de (DRX) de [PU+Ben-AAC11] a 2pcr

Al analizar los resultados de caracterización por DRX, se concluye que. Se obtuvieron 2 **NC**, exfoliados, como se puede ver en las figura VI.7 y VI.8. En donde el equipo si detecta a la arcilla.

## ENSAYO DE RETARDANCIA DE FLAMA

[PU + Ben] y [PU + Ben-AAC11]

En la obtención de los resultados del ensayo de retardancia de flama se consideraron los siguientes parámetros para cada uno de los **NC**.

- Tiempo de Ignición (tiempo que dura la flama después de los 10 s)
- Peso de la muestra (diferencia de peso entre peso inicial y peso al término de la prueba), y
- Presencia de goteo durante el quemado.
- 

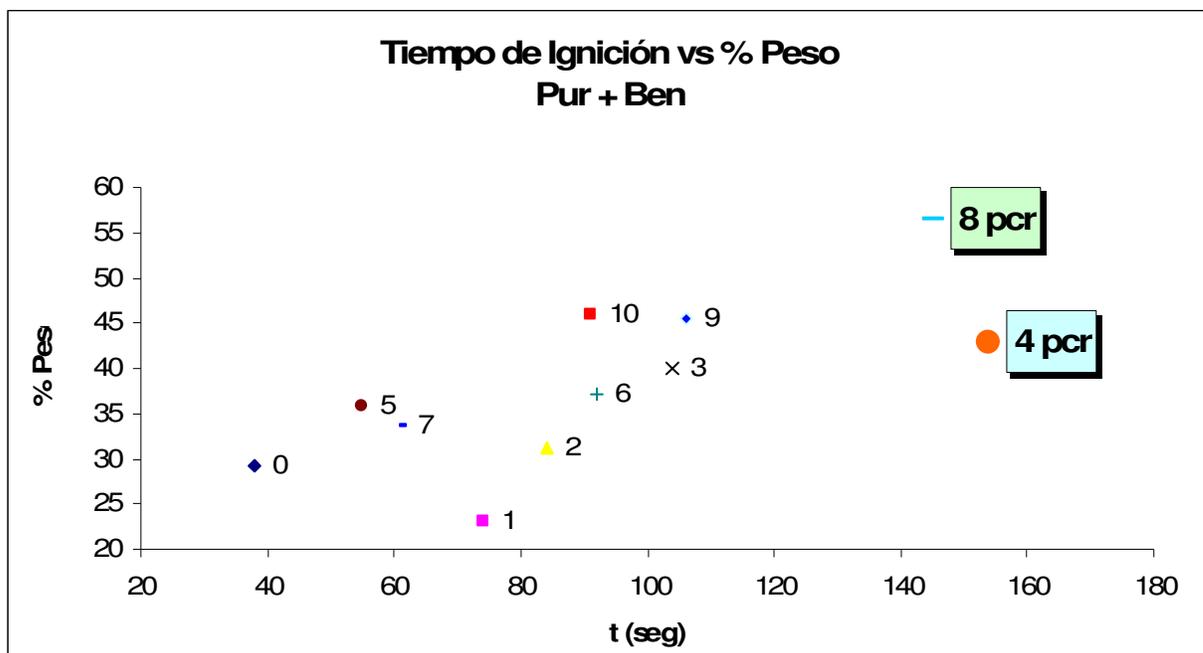
**NC [PU + Ben]**

Los resultados que se obtuvieron en el **NC** con bentonita sódica de este experimento es la eliminación del goteo desde 3pcr de bentonita en adelante. Con esto se evita uno de los principales factores de propagación del fuego. Se puede observar también que con el aumento de arcilla tiende a consumirse cada vez menos al quemarse. A pesar de que puede permanecer ardiendo más tiempo (de uno a dos minutos) se quema poco la muestra. Se observó que arde con una llamarada larga (alrededor de 35 cm) en el polímero puro de PU y que esta va disminuyendo en el tamaño. Se observó que era cada vez más pequeña con el aumento de arcilla hasta tener unos 10-15 cm de alto en las de 9 y 10 pcr

Probetas (pcr)	T (seg)	Nº gotas	% de variación en Peso después de la Ignición
0	38	34	29.3
1	74	29.4	23.2
2	84	10	31.3
3	104	0	40
4	154	0	42.8
5	55	0	35.9
6	92	0	37.0
7	61	0	33.7
8	145	0	56.6
9	106	0	45.5
10	91	0	45.9

Tabla IV. 2. Prueba de retardancia a la flama del NC [PU + Ben]

Para los NC con 4 y 8 pcr se conservó la mayor cantidad de masa sin quemarse. En la tabla IV. 2 se indica el valor promedio( de las cinco muestras quemadas en c/concentración) del peso final de los **NC**, para cada concentración de arcilla, el tiempo que duró encendida la muestra después de haber retirado el mechero, (8 y 4pcr fueron las que obtuvieron los mejores resultados). Y el número de gotas desprendidas durante la prueba.



Gráfica VI.9. Tiempo de ignición vs % Peso [PU + Ben]

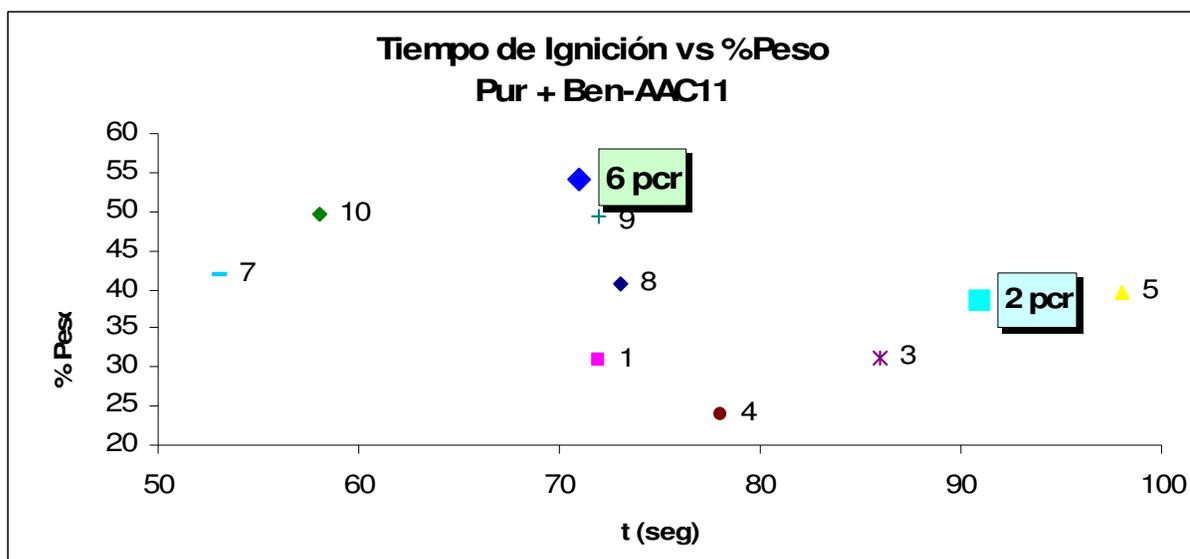
NC [PU + Ben-ACC11]

Los resultados que se obtuvieron para el NC con organoarcilla [PU + Ben-AAC11] se muestran en la tabla VI.3 y en la Gráfica VI.10

Modificando la arcilla, baja la concentración en pcr que evita el goteo (2pcr). El tamaño de la flama al quemarse se reduce aproximadamente 15cm con la arcilla modificada.

Probetas (pcr)	t (seg)	Nº gotas	% de variación en Peso después de la Ignición
0	38	34	29.3
1	72	4.6	30.9
<b>2</b>	<b>91</b>	<b>0</b>	<b>38.4</b>
3	86	0	31.3
4	78	0	23.8
5	98	0	39.7
<b>6</b>	<b>71</b>	<b>0</b>	<b>54.2</b>
7	53	0	41.7
8	73	0	40.6
9	72	0	49.3
10	58	0	49.7

Tabla .VI.3 Prueba de retardancia a la flama del NC [PU + Ben-AAC11]



Gráfica VI.10. Tiempo de ignición vs % Peso [PU + Ben-AAC11]

Un segundo aspecto relevante en el comportamiento de los **NC** es que en menos de un minuto se extingue la flama para casi todas las concentraciones permaneciendo casi la mitad de la probeta sin quemarse a altas concentraciones.

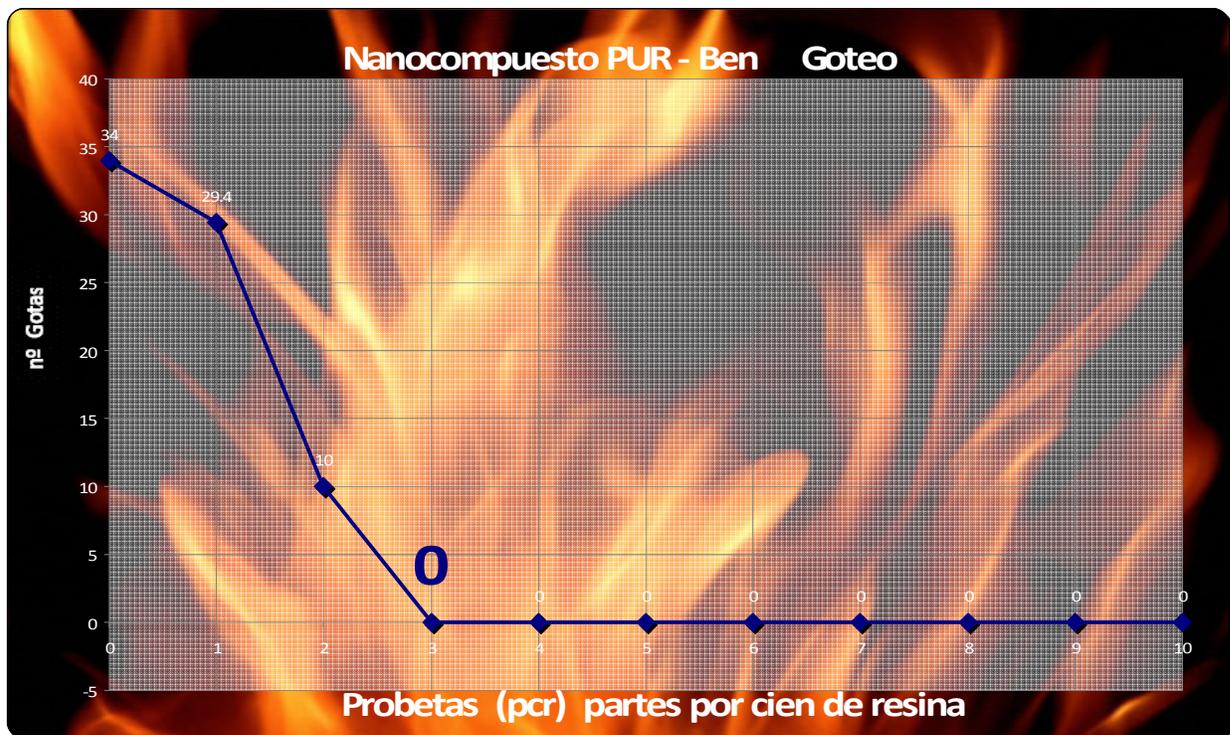
Se observa la formación de una capa intumescente de carbón que junto con la arcilla evita que se quemara toda la probeta.

Los resultados de goteo que se obtuvieron para los **NC** [PU + Ben] y [PU + Ben-AAC11], se pueden observar en las Gráfica VI.3 y VI.4

Se observa que la concentración de extinción de goteo fue mínimo desde 3pcr para arcilla sódica y 2 con arcilla modificada con hidrocloreuro de ácido aminoundecanoico.

La explicación que se ha propuesto es que cuando comienza la pirólisis las láminas se colapsan dando como resultado que éstas formen una barrera que no permite la entrada ni salida de energía.

La cadena de silicatos y polímero una vez carbonizada actúa como un excelente aislante o barrera de transporte de masa y energía.



Gráfica VI.11 Goteo [PU + Ben]



Gráfica VI.12 Goteo [PU + Ben AAC11]

## ENSAYO DE COMPRESIÓN

En este ensayo se evaluaron los dos tipos de **NC** [PU + Ben] y [PU + Ben-AAC11], y se obtuvieron los valores de Esfuerzo – Deformación.

### NC [PU + Ben]

La carga máxima que soporta el polímero virgen es de 144.09 kgf (se indica este valor en la *concentración de 0pcr*). En el **NC** con arcilla sódica, como se puede observar en la Tabla VI.4, el valor más alto de la carga máxima, 292.07 kgf, se presenta a la concentración de 9pcr y es el doble en magnitud que la resina PU virgen. Los siguientes valores que resaltan, 255.84, 252.95 kgf, superan 1.7 veces el valor del resina virgen con 2, 6 y 10 pcr de arcilla bentonita. De los cuáles sobresale que tan sólo con 2pcr ya se mejora notablemente la carga máxima soportada antes de deformarse.

Tabla VI.4 Prueba de compresión del polímero [PU + Ben], medidos a 500cm <sup>3</sup> a 23 °C y 50% Humedad				
PU + Ben	DE CARGA MÁXIMA (kgf)	EXTENSION MÁXIMA (mm)	PUNTO DE CARGA MÁXIMA	PUNTO DE EXT. MÁX. (mm)
PCR 0	144.09	22.49	26	29.33
PCR 1	193.59	17.97	19.83	25.93
PCR 2	252.95	17.45	17.12	24.56
PCR 3	190.22	20.68	26.08	29.41
PCR 4	183.87	17.08	24.07	24.09
PCR 5	138.29	11.55	31.24	31.27
PCR 6	255.84	18.03	22.14	25.52
PCR 7	243.68	18.54	28.89	28.89
PCR 8	181.35	17.71	26.17	26.18
PCR 9	292.07	28.70	36.33	36.33
PCR 10	252.05	21.91	23.33	26.33

NC [PU + Ben-AAC11]

Con la arcilla organofilizada se logró duplicar el valor a 2pcr. Como se puede ver en la Tabla VI. 5, el valor más alto es 298 kgf, con tan sólo 2 pcr, lo que significa un aumento de 2 veces el de la resina virgen.

Tabla VI.5. Prueba de compresión del polímero [PU + Ben-AAC11], medidos a 500cm <sup>3</sup> a 23°C. y 50% Humedad				
PU + Ben- AAC11	DE CARGA MÁXIMA (kgf)	EXTENSION MÁXIMA (mm)	PUNTO DE CARGA MÁXIMA	PUNTO DE EXT. MÁX. (mm)
PCR 0	144.09	22.49	26	29.33
PCR 1	281.40	20.89	24.00	26.67
PCR 2	298.05	21.44	20.00	26.00
PCR 3	232.83	19.65	23.67	33.00
PCR 4	169.10	20.81	25.67	28.33
PCR 5	256.33	21.44	22.00	28.00
PCR 6	268.32	23.92	24.33	28.67
PCR 7	165.14	22.43	27.67	27.67
PCR 8	121.88	21.40	26.67	26.67
PCR 9	226.50	22.00	23.00	26.33
PCR 10	236.47	21.94	24.33	26.33

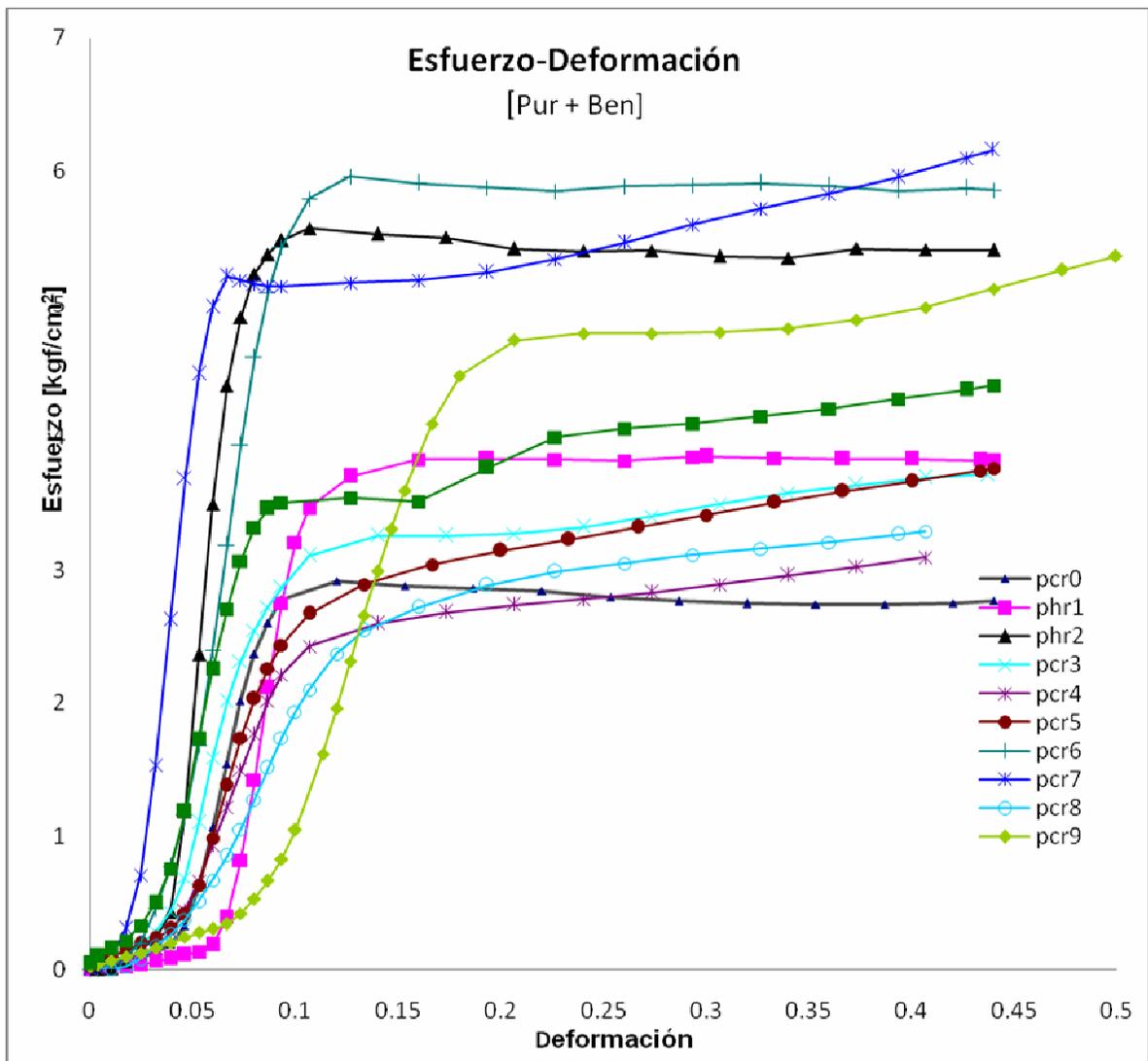
**Esfuerzo – Deformación.**

NC [PU + Ben]

Para realizar el análisis de Esfuerzo – Deformación. Los valores de fuerza (Carga lbf) por Desplazamiento (In), fueron convertidos a unidades de Esfuerzo ( $\text{kgf}/\text{cm}^2$ ) por Deformación (adimensional) al dividirla entre el área transversal.

En la Gráfica VI.13 de Esfuerzo – Deformación observamos que el resultado óptimo ocurre a 6 pcr, aumentando la capacidad de esfuerzo con respecto a su deformación ubicándolo en un rango de 5 – 6  $\text{kgf}/\text{cm}^2$ .

Sí consideramos la concentración más baja en este intervalo de magnitud de esfuerzo se encuentra que la de 2 pcr da excelentes resultados.



Gráfica VI.13 Esfuerzo – Deformación. NC [PU + Ben]

El módulo de elasticidad nos dice que: la línea recta es directamente proporcional al esfuerzo, en la zona plástica.

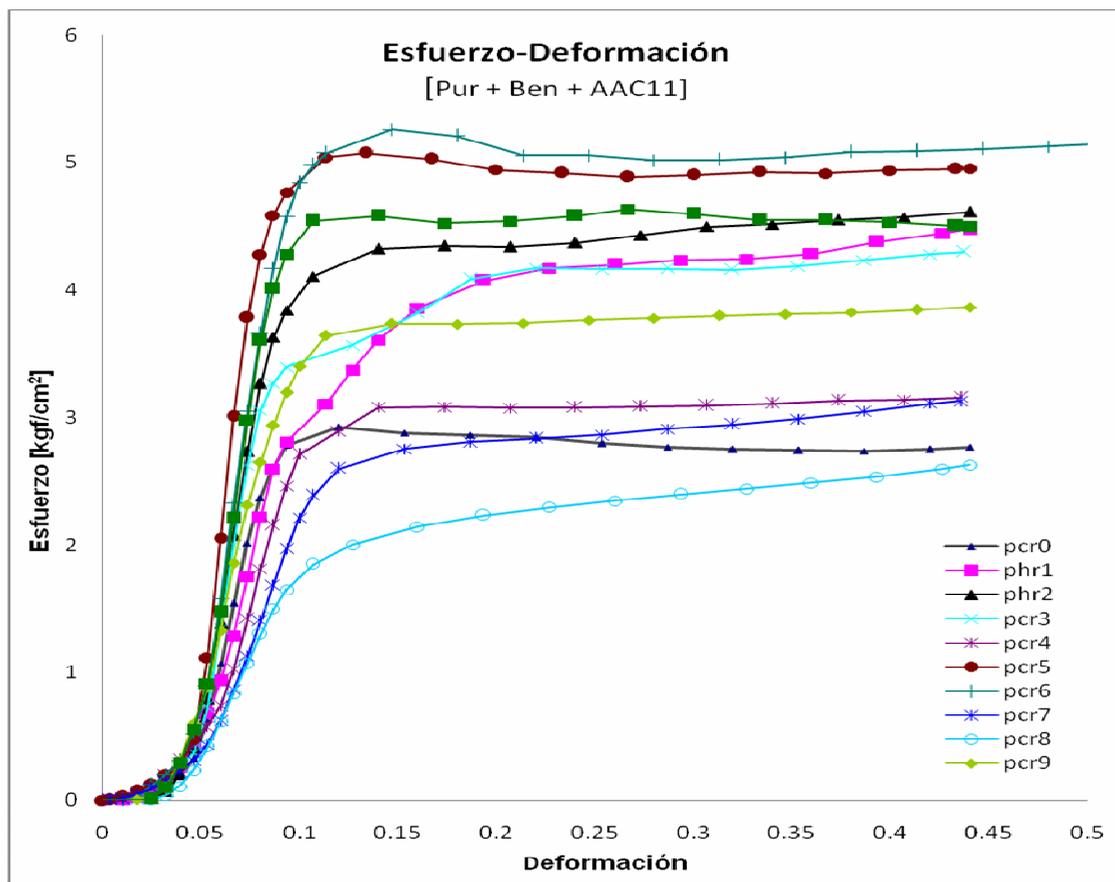
La concentración que alcanzó más altos valores de deformación es la de 9 pcr, así como la concentración que menos se deformó en la 4 pcr.

En las concentraciones de 0 – 5pcr, el punto de ruptura permanece constante. Mientras que a 6pcr aumenta considerablemente, quiere decir que a esta concentración se tarda más en fracturar el material.

En cuanto al acomodo de las láminas de los filosilicatos, se deduce que, esta dispersa por todo el polímero, ayudando a que el material tarde más tiempo en que llegue a su punto de ruptura reforzándolo en múltiples puntos.

### NC [PU + Ben-AAC11]

Modificando la arcilla se obtienen mejores resultados, como se puede apreciar en la Gráfica VI.14, Con la concentración de 2pcr, se obtuvo 298kgf ( $2923.38\text{kg}\cdot\text{m}/\text{seg}^2$ ), es decir, el resultado no solo es mejor que con arcilla sódica sino que además se obtuvo el mismo resultado que con 9 pcr de la sódica, pero a más bajas concentraciones de arcilla.



Gráfica VI.14 Esfuerzo – Deformación. NC [PU + Ben-ACC11]

## CONCLUSIONES

El uso de un material nanoestructurado, independientemente de la exfoliación o intercalación de la arcilla, mejora las propiedades con respecto al material virgen.

**Con respecto al comportamiento frente al fuego**

- La arcilla **baja la intensidad** de la flama y, aunque dura más tiempo encendido, **se consume menos** material orgánico,
- **GOTEO**: se redujo de 34 gotas **A CERO GOTAS** con tan sólo 3pcr, (incluso 2 pcr con la organoarcilla en el **NC [PU + Ben-AAC11]**)

**Con respecto a propiedades mecánicas (compresión)**

- En cuanto a la carga máxima, en el **NC [PU + Ben]**, se incrementa la resistencia a la compresión hasta **2.02 veces con respecto al polímero sin arcilla**
- Con respecto al esfuerzo – deformación en general , en los nanocompuestos, aumentó la resistencia **con respecto al polímero sin arcilla**
- **Podemos decir, que sí se obtuvo un material con las características deseadas.**

De manera personal, esta investigación fue una introducción a un nuevo campo de conocimiento, obteniendo nuevos materiales que se pueden aplicar a la construcción a través de la ciencia de los materiales. El conocimiento adquirido de la ciencia de los materiales, nanoestructurados con polímeros se abrió, obteniendo una perspectiva amplia de sus propiedades y sus aplicaciones dentro de la industria de la construcción. Estoy conciente que necesitamos trabajar en el laboratorio generando un trabajo multidisciplinario con Químicos, Ingenieros Químicos, para poder crear y dar

propuestas de nuevos materiales y sistemas constructivos para las necesidades actuales de esta sociedad.

**Recomendaciones**

- Considero que se pueden mejorar los resultados, reduciendo las variables de experimentación para obtener homogeneidad en los resultados.
- Se recomienda utilizar varios tipos de mezclado para generar el óptimo.



Otro aspecto importante es la aplicación dentro de la construcción, gracias a la versatilidad y flexibilidad del material, la aplicación puede ser desde el diseño de casas emergentes hasta una vivienda bioclimática (ahorro de energía). En la figura A-1 se muestra un diagrama de la posible aplicación. Este nos ayuda a pensar en la gama de posibles construcciones y diferentes nichos de mercado.

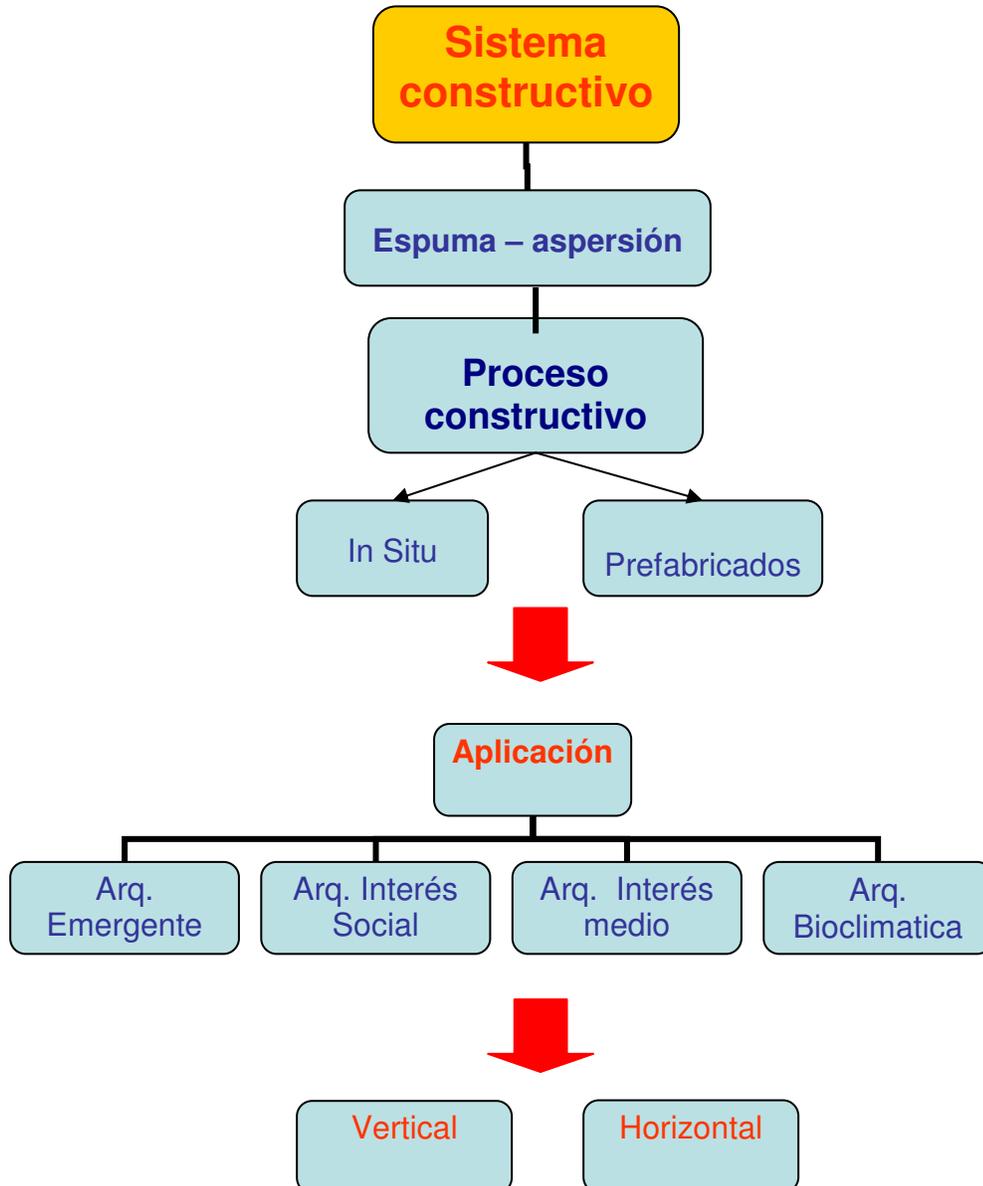


Figura A-1 Diagrama de aplicación en la Arquitectura

**SISTEMA CONSTRUCTIVO**

Debido a los desastres naturales y la falta de propuestas alternativas de sistemas constructivos para vivienda emergentes

El sistema constructivo consiste en fabricar estructuras neumáticas como moldes para la construcción de cáscaras.

El procedimiento constructivo como se puede observar en la Figura A-2. Se establece, sobre un firme armado, se ancla a lo largo del perímetro de la estructura neumática, para proceder a su inflado con un ventilador. Alcanzada la presión correcta, se espera la espuma de [PU], que al hacer contacto con la superficie se transforman por medio de una reacción química en un sólido. Cuyo volumen es superior 30 veces al líquido. Una vez realizado este proceso, se desinfla el globo (estructura neumática), que puede ser usado como cimbra nuevamente. Posteriormente, se aplica por el exterior un recubrimiento de una capa del mezclado de aditivos generando un material pastoso con acabado base para la pintura.

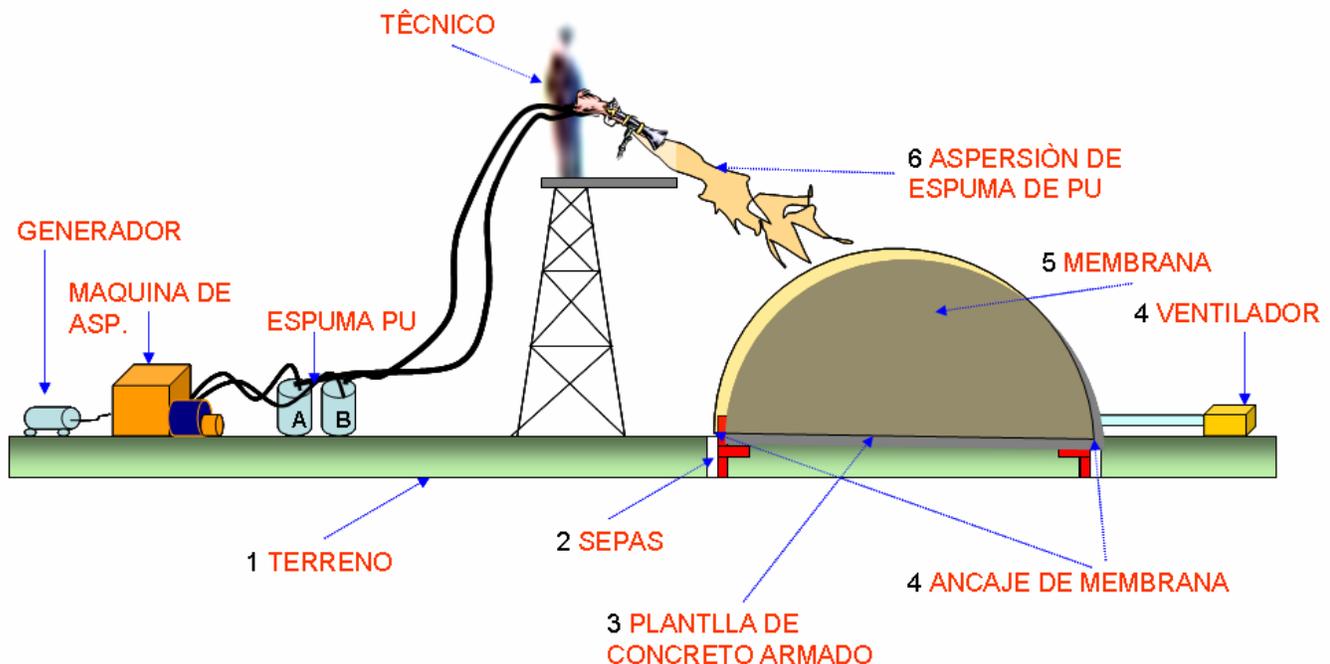
**SISTEMA CONSTRUCTIVO**

Figura A-2 Sistema Constructivo

Es así que la combinación de la espuma de [PU], en forma de aspersión sobre estructuras neumáticas (cimbra – neumática). Y con la maquina de aspersión y la fácil transportación, resulta un excelente sistema constructivo para la fabricación de viviendas. En donde los límites no estén marcados más que por la imaginación plástica del hombre. Viviendas que pueden ser construidas como volúmenes monolíticos, sin juntas o piezas entre muros suelo y techo.

La dinámica de su sistema constructivo es el espacio de almacenaje y el espacio para transportación de materias primas, haciendo este sistema ideal para la arquitectura emergente o de desastre.

Comparativamente hablando, la estructura neumática necesita únicamente una tercera parte del material de construcción empleado en una casa convencional, la cual requiere de 15cm de espesor en muros, pisos y techos. Mientras que la de espuma de poliuretano solo requiere de 4cm y con posibilidad de aplicar mortero con acabado base para la pintura. Mientras que en el sistema tradicional hay que recubrir los tabiques y losa con el mismo mortero o yeso.

Además encontramos un ahorro sustancial en la cimentación (generalmente la cimentación cuesta aproximadamente el 30% del total de la estructura). La estructura de espuma de poliuretano trabaja repartiendo todos sus esfuerzos sobre el terreno, por lo que la cimentación en sí equivale al firme armado de una construcción convencional, con la ventaja de tener una mayor capacidad de transmisión de cargas, tanto por su forma como por ser una estructura monolítica.

También este tipo de formas incrementa la superficie, si se equipara con el mismo perímetro de una casa ortogonal.

Tomemos el círculo y la esfera; estas formas aportan un espacio interior máximo con un interior mínimo (aproximadamente el 27% más de superficie y volumen) en relación al cuadro y al cubo respectivamente.

Hay que decir que el microclima generado por el material, representa en lugares de climas extremos un ahorro importante de energéticos, calefacción y aire acondicionado, aspectos poco apreciados generalmente, pero que en ciudades como

en Mexicali, Baja California, llegan a implicar que las gentes que perciben un salario mínimo, inviertan cerca de la mitad de su salario en acondicionar climáticamente su vivienda.

De igual manera el proyecto puede resultar autosuficiente, implementando ecotécnicas. Utilización de celdas solares, para aprovechar la energía, calentamiento del agua por medio del sol, aprovechamiento de la energía eólica.

Por otra parte es indispensable tener en cuenta el costo de nuestro producto, para poderlo comparar con el mercado actual y así fortalecer nuestro proyecto. En la Tabla A-1, se muestra el rendimiento y el costo de la espuma de [PU], aplicada con aspersión.

En el análisis de costos que se realizo, se observo que las materias primas eran menos costosas que las tradicionales y en donde se abarata más el costo de la vivienda es en la producción, utilizando 2 técnicos para la fabricación de casas. Superando sistemas tradicionales.

#### Rendimiento de material

500kg de espuma me rinden 400m<sup>2</sup>, a 1". Y aplicación a 2" es de 195m<sup>2</sup>, incluye: material y mano de obra.

El costo es: **70 pesos el m<sup>2</sup>**  
Incluye: material y mano de obra.

Rendimiento de maquina en tiempo: 6m<sup>2</sup> por min a 1"

Tabla A-1 Rendimiento y costo de espuma PU aplicado aplicado con aspersión.

**El análisis FODA**

La revisión de las **Fortalezas**, **Oportunidades**, **Debilidades**, **Amenazas** de este proyecto nos da una herramienta fundamental para el desarrollo de proyectos Arquitectónicos.

El análisis FODA es un estudio complementario de un plan de negocio. El objetivo de este análisis es determinar el verdadero atractivo del negocio.

<b>ANALISIS FODA</b>	
<b>FORTALEZAS (INT)</b>	<b>OPORTUNIDADES (EXT)</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Obtención de nuevos materiales de espuma polimérica con propiedades retardantes de flama, libres de agentes tóxicos o contaminantes, que a la vez posean buenas propiedades mecánicas</li> <li>• Reducción de costos utilizando materia prima nacional grado industrial (arcillas) que es amigable al medio ambiente (libre de disolventes). Esto hace a nuestros productos económicamente atractivos.</li> <li>• Aplicación Dinámica y Versátil, desde vivienda emergente hasta vivienda Bioclimática.</li> <li>• Dimensiones reducidas de materias primas</li> <li>• Ahorro de energía y costos en sus aplicaciones</li> <li>• Uso del material Reciclado</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Formación y apoyo de un equipo multidisciplinario</li> <li>• la creación de fuertes relaciones con los proveedores</li> <li>• La demanda de vivienda emergente y/o Vivienda con Diseño Bioclimático.</li> <li>• El manejo de maquinaria y equipo Nacional</li> </ul>
<b>DEBILIDADES (INT)</b>	<b>AMENEZAS (EXT)</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Material flamable</li> <li>• Accesible económicamente</li> <li>•</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ideología de la sociedad al uso de los plásticos</li> <li>• Entrar en el mercado de los diferentes niveles de vivienda</li> </ul>



PROTOTIPO DE VIVIENDA VERTICAL

